



**LISBOA  
SCHOOL OF  
ECONOMICS &  
MANAGEMENT**

## **MESTRADO**

ECONOMIA E GESTÃO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

## **TRABALHO FINAL DE MESTRADO**

DISSERTAÇÃO

### **PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DO INVESTIMENTO EM I&D: UMA COMPARAÇÃO INTERNACIONAL**

MARÍLIA SOFIA CARRIÇO DAVID BARRADAS

SETEMBRO – 2013



**LISBOA  
SCHOOL OF  
ECONOMICS &  
MANAGEMENT**

## **MESTRADO EM**

**ECONOMIA E GESTÃO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

## **TRABALHO FINAL DE MESTRADO**

**DISSERTAÇÃO**

### **PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DO INVESTIMENTO EM I&D: UMA COMPARAÇÃO INTERNACIONAL**

**MARÍLIA SOFIA CARRIÇO DAVID BARRADAS**

#### **ORIENTAÇÃO:**

**PROFESSOR DOUTOR MANUEL FERNANDO CÍLIA DE MIRA GODINHO**

**SETEMBRO – 2013**

## **Agradecimentos**

Aos meus dois grandes amores Pedro e André pela paciência e pela compreensão e pelo carinho.

Aos meus pais, ao meu irmão Marco e aos meus avós pelo apoio.

Ao prof. Doutor Manuel Fernando Cília de Mira Godinho pela orientação, apoio e disponibilidade.

## **Abstract**

It is known that R&D contributes to economic growth, playing an increasingly important role. According to this principle, the present study aims to evaluate the efficient use of resources invested by different countries and what is their contribution to the production of knowledge. Thus, two methods were used: (1) the production function to analyze the contribution of investment in R&D, business and non-business for the production of knowledge, and (2) the non parametric technique DEA.

In the production function the variables used are: investment in R&D and the number of researchers in FTE, business and non-business. As inputs, for the DEA model, we opted for the investment in R&D and the number of researchers in FTE and as outputs the number of PCT patents applications and the number of articles of science and technology published. In the production function analysis there is no economies of scale and there is a high correlation between inputs and outputs, although with some notable outliers (China and Russia).

In the analysis of efficiency in the period 2000-2009, the most efficient countries are the Netherlands, New Zealand, Switzerland, Italy, UK, Germany, USA and Malta

**Key-words:** R&D, Innovation, Efficiency, Production Function, DEA

## Resumo

Sabe-se que a I&D contribui para o crescimento económico, desempenhando um papel cada vez mais importante. De acordo com este princípio, o presente estudo pretende avaliar a eficiência na utilização dos recursos investidos pelos diferentes países e qual o seu contributo para a produção de conhecimento. Assim, foram utilizadas duas metodologias: (1) a função de produção para analisar o contributo do investimento em I&D, empresarial e não empresarial e do número de investigadores em ETI, empresariais e não empresariais para a produção de conhecimento; e (2) a técnica não paramétrica DEA.

Como variáveis para a função de produção utilizou-se o investimento em I&D e o número de investigadores em ETI, agregados em termos empresariais e não empresariais. Como *inputs* e *outputs*, no modelo DEA, optou-se pelo investimento em I&D e o número de investigadores em ETI e número de pedidos de patentes pela via PCT e o número de artigos científicos e tecnológicos publicados, respectivamente. Concluiu-se na análise pela função de produção não se verificarem economias de escala e existir uma elevada correlação entre *inputs* e *outputs*, embora com alguns *outliers* notáveis (China e Rússia).

Relativamente à análise de eficiência no período 2000-2009, chegou-se à conclusão que os países mais eficientes são a Holanda, a Nova Zelândia, a Suíça, a Itália, o Reino Unido, a Alemanha, os EUA e Malta.

**Palavras-Chave:** I&D, Inovação, Eficiência, Função de Produção, DEA

## Índice

<b>1 – Introdução .....</b>	<b>10</b>
<b>2 – Enquadramento Teórico .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 – Modelos de crescimento económico .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 – Modelos de eficiência .....</b>	<b>18</b>
<b>3 – Modelos teóricos .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 – Função de produção .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2 – A eficiência .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 – O método DEA .....</b>	<b>27</b>
<b>4 – Metodologia .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 – A amostra .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1.1 – Variáveis .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2 – Método da função de produção .....</b>	<b>32</b>
<b>4.2.1 – O modelo empírico .....</b>	<b>33</b>
<b>4.3 – Método da análise de eficiência .....</b>	<b>34</b>
<b>5 – Análise dos resultados .....</b>	<b>34</b>
<b>5.1 – Resultados da função de produção .....</b>	<b>35</b>
<b>5.2 – Resultados da análise de eficiência pelo método DEA .....</b>	<b>40</b>
<b>6 – Conclusão .....</b>	<b>42</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>45</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>50</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> – Representação gráfica da eficiência técnica e alocativa .....	<b>24</b>
<b>Figura 2</b> – Relação entre o <i>output</i> e a despesa em I&D e o número de investigadores ETI, empresariais (valores médios para o período 2000-2009, com variáveis agregadas pelo método min-max) .....	<b>38</b>
<b>Figura 3</b> – Relação entre o <i>output</i> e a despesa em I&D e o número de investigadores ETI, não empresariais (valores médios para o período 2000-2009, com variáveis agregadas pelo método min-max) .....	<b>39</b>
<b>Figura 4</b> – Relação entre artigos científicos e tecnológicos publicados e a despesa em I&D e o número de investigadores ETI, empresariais (valores médios para o período 2000-2009, com variáveis agregadas pelo método min-max) .....	<b>53</b>
<b>Figura 5</b> – Relação entre artigos científicos e tecnológicos publicados e a despesa em I&D e o número de investigadores ETI, não empresariais (valores médios para o período 2000-2009, com variáveis agregadas pelo método min-max) .....	<b>54</b>
<b>Figura 6</b> – Relação entre os pedidos de patentes PCT e a despesa em I&D e o número de investigadores ETI, empresariais (valores médios para o período 2000-2009, com variáveis agregadas pelo método min-max) .....	<b>55</b>
<b>Figura 7</b> – Relação entre os pedidos de patentes PCT e a despesa em I&D e o número de investigadores ETI, não empresariais (valores médios para o período 2000-2009, com variáveis agregadas pelo método min-max) .....	<b>56</b>
<b>Figura 8</b> – Evolução média da eficiência técnica pura e eficiência técnica global para o período 2000-2009 .....	<b>63</b>

## Índice de tabelas

<b>Tabela I</b> – Tipos de eficiência .....	<b>29</b>
<b>Tabela II</b> – Resultados do modelo estimado .....	<b>36</b>
<b>Tabela III</b> – Variáveis do modelo de eficiência .....	<b>40</b>
<b>Tabela IV</b> – Variáveis e fontes .....	<b>50</b>
<b>Tabela V</b> – Lista de países .....	<b>51</b>
<b>Tabela VI</b> – Estatísticas descritivas das variáveis .....	<b>52</b>
<b>Tabela VII</b> – Taxas médias de eficiência para o período 2000-2009 .....	<b>57</b>
<b>Tabela VIII</b> – Taxas médias de eficiência para o período 2000-2004 .....	<b>59</b>
<b>Tabela IX</b> – Taxas médias de eficiência para o período 2005-2009 .....	<b>61</b>



## **Siglas e Acrónimos**

**I&D** – Investigação e Desenvolvimento

**DEA** – Data Envelopment Analysis

**SFA** – Stochastic Frontier Analysis

**SNI** – Sistema Nacional de Inovação

**EPO** – European Patent Office

**C&T** – Ciência e Tecnologia

**VIF** – Variance Inflation Test

**DMU** – Decision Making Unit

**ETI** – Equivalente Tempo Integral

**BCC** – Banker, Charnes e Cooper

**CCR** – Charnes, Cooper e Rhodes

**OLS** – Ordinary Least Squares

**PCT** – Patent Cooperation Treaty

## 1. Introdução

São vários os autores e as correntes económicas que, de há uns anos a esta parte, sobretudo a partir das teorias de Schumpeter, assumem e reconhecem que a inovação é o motor para o crescimento económico sustentável. Grande parte dos países, Portugal incluído, têm tentado investir cada vez mais em investigação e desenvolvimento (I&D), ao mesmo tempo que tentam criar um ambiente favorável à existência de inovação e de conhecimento. A utilização eficiente de recursos, que se tornam cada vez mais escassos, afigura-se cada vez mais essencial, principalmente num mundo fortemente globalizado, como nos dias de hoje. Caso os recursos não sejam bem empregues, a criação de conhecimento ficará limitada, tornando-se premente que estes sejam utilizados de forma mais eficiente. Por esta razão, a análise da utilização eficiente do conhecimento, que gera inovação, tem assumido cada vez mais um papel relevante para os autores alinhados neste paradigma.

A literatura confirma de facto a importância da despesa em I&D para o crescimento económico, contudo, os recursos de I&D disponíveis para a criação de novo conhecimento são, como referido, limitados, devido às restrições financeiras, quer no sector privado, quer no sector público. Vários trabalhos focam a importância do nível de despesa em I&D e de novos investimentos, mas deixam de parte a avaliação da eficiência, isto é, se os recursos disponíveis são utilizados de forma a maximizar o *output* inovador (Wang e Huang, 2007). Tudo isto se torna importante porque o investimento em I&D pode não promover o crescimento de modo adequado se os recursos forem utilizados de forma ineficiente (Wang, 2007).

Têm sido utilizadas diversas técnicas, paramétricas e não paramétricas, para medir a eficiência em I&D. Esta eficiência pode ser medida ao nível da empresa, indústria, regional ou de países. Alguns estudos adoptaram a técnica não paramétrica *Data Envelopment Analysis* (DEA) (Wang e Huang, 2007; Rousseau e Rosseau, 1997, 1998), enquanto outros optaram pela utilização de métodos paramétricos como a *Stochastic Frontier Analysis* (SFA) (Wang, 2007). Todos os estudos paramétricos utilizam apenas um *output*, normalmente as patentes, assumindo uma fronteira de eficiência homogénea para todos os países. Contudo, somos confrontados com a heterogeneidade dos países, em todo o mundo, pelo que a hipótese de uma fronteira de produção de conhecimento homogénea é uma hipótese, em si, limitada.

Torna-se assim importante responder a questões como: Será que o investimento em I&D produz os efeitos esperados no número de artigos científicos e tecnológicos publicados e no número de pedidos de patentes? Será que o investimento realizado em I&D é realizado de uma forma eficiente? Será possível que países com menor investimento em I&D e menor número de investigadores tenham resultados semelhantes em termos de eficiência, quando comparados com outros países com maiores níveis de investimento?

Um estudo ao nível dos países pode mostrar as implicações da gestão de I&D e da política inovadora. Considera-se assim relevante analisar de que forma o investimento em I&D e o número de investigadores contribuem para o número de artigos científicos e pedidos de patentes, o que foi feito através de uma função de produção tal como no trabalho pioneiro de Griliches (1979). Será identicamente importante analisar se estes *inputs* (despesa em I&D; número de investigadores) são utilizados de uma forma eficiente, comparando países com níveis de desenvolvimento

diferentes tendo como base as mesmas variáveis de *input*. Para a análise da eficiência optou-se pelo método DEA, inicialmente proposto por Farrell (1957) e posteriormente desenvolvido por Charnes et al (1978). Este método permitirá analisar a eficiência do sistema de produção de conhecimento, através da utilização de um conjunto de *inputs* e *outputs*. O método DEA foi aprofundado igualmente por Banker et al (1984), o que permite estudar as economias de escala que caracterizam os sistemas de produção de conhecimento e definir países referência para todos os países considerados ineficientes (*benchmarks*).

O presente trabalho está dividido da seguinte forma: no ponto 2 faz-se o enquadramento teórico, com a revisão da literatura relevante; no ponto 3 são apresentados os dois métodos utilizados no presente estudo; no ponto 4 é exposta a metodologia utilizada para a função de produção e para o método DEA; no ponto 5 são apresentados os resultados da aplicação dos dois métodos de análise, após a comparação dos dados, e por fim, no ponto 6, apresentam-se as conclusões.

## **2. Enquadramento teórico**

Desde a década de 50 até à década de 80, a reflexão sobre a natureza e as características do processo de inovação foi dominada por uma visão linear. A inovação era entendida como um processo sequencial e hierárquico, onde se passava, de uma forma sucessiva, da investigação fundamental para a investigação aplicada, e desta para o desenvolvimento do produto e consequente produção e comercialização. Nesta relação de causalidade, partindo da ciência (investigação fundamental) para a tecnologia (investigação aplicada), esta última, é considerada como aplicação de conhecimento científico previamente disponível. Nesta perspectiva, a investigação

científica é considerada exógena ao mercado. A adopção deste conceito linear de inovação poderia, assim, levar a concluir que elevados investimentos, em investigação fundamental, reflectir-se-iam positivamente no crescimento económico.

### **2.1. Modelos de crescimento económico**

Vários trabalhos apontam a I&D como um dos principais factores a ter em consideração quando se analisa o crescimento económico. Nesse sentido, será importante perceber qual a evolução dos estudos e correntes em relação à importância do conhecimento e da I&D para a economia e de que forma podem contribuir para o crescimento económico dos países.

Schumpeter (1942) foi o primeiro autor a explorar a importância do investimento em inovação tecnológica, com a sua obra<sup>1</sup> sobre I&D, inovação e empreendedorismo. Até ao trabalho deste autor, as várias teorias do crescimento económico não tinham em consideração a variável inovação. Com a introdução do conceito de destruição criadora, pelo mesmo autor, e com a conclusão de que é a inovação que determina os ciclos económicos a longo prazo, tem-se assistido a um crescimento da literatura sobre a importância do conhecimento para a economia, o que terá levado aos consequentes e recorrentes estudos sobre I&D.

Solow (1957) e Denison (1962) chegaram à conclusão que o crescimento económico não é explicado apenas pelo factor trabalho e capital, antecipando a relevância do progresso tecnológico no crescimento económico. Foi a partir do trabalho desenvolvido por Solow que a função de produção passou a ser utilizada em

---

<sup>1</sup> *Capitalism, Socialism and Democracy*, New York: Harper and Row, de Schumpeter (1942), segundo John Kenneth Galbraith (2003) “(...) is a book to be read not for the agreement or disagreement it provokes but for the thought it invokes.”

modelos de crescimento. O autor utilizou uma função algébrica *Cobb-Douglas*<sup>2</sup>, aplicando-a à actividade económica no seu todo e criou uma função de produção que possibilitou a contínua substituição entre factores, resultando assim numa variabilidade do produto marginal de cada factor. Solow aponta ainda a importância da mudança tecnológica (exógena) para o crescimento económico, assumindo que, no longo prazo irá existir introdução de inovação.

Para Schmookler (1966), o progresso tecnológico é determinado por factores económicos e sociais. Este autor realizou uma pesquisa histórica com base nas patentes dos EUA e na informação sobre investimento. Concluiu que a invenção e a inovação são actividades económicas, já que as mudanças nos recursos afectos à invenção e inovação reflectem alterações na procura/mercado. Assim, existe inovação porque há procura, necessidades, a força motriz é a procura, o mercado. *“Utilizou formalmente a perspectiva demand-pull<sup>3</sup> e demonstrou que as flutuações históricas dos registos de patentes nos EUA, em finais do século XIX e início do século XX, seguem muito proximamente, com um pequeno hiato temporal, algumas séries relacionadas com factores de procura, nomeadamente as séries de investimento industrial”* (Godinho, 2003).

Mowery e Rosenberg (1979) criticaram o modelo proposto por Schmookler, defendendo que não se deve ter apenas em consideração a procura ou o investimento, mas sim ambos. Criaram os conceitos de oportunidades de mercado e oportunidade tecnológica e argumentaram que os dados utilizados por Schmookler respeitavam a

---

<sup>2</sup> A Função de Cobb-Douglas é usada para representar o relacionamento de uma determinada saída e as diversas entradas *input* e *output*:  $O = K^\alpha L^{1-\alpha}$

<sup>3</sup> Modelos de inovação pela procura

indústrias do século XIX e por isso o papel dos avanços científicos era relativamente secundário.

O modelo de Solow foi posteriormente desenvolvido por Griliches (1992), através da introdução do conhecimento na função de produção, pois existia a necessidade de estimar o *stock* de I&D. Neste sentido, neste novo modelo, o produto é explicado pelo crescimento de *stock* de capital e de conhecimento da economia e do trabalho. Na análise desenvolvida por Griliches é utilizada apenas a variação do *stock* de conhecimento, que é igual ao I&D concretizado. O conceito de capital é expandido por forma a incluir o capital humano, onde o rendimento é constante e não decrescente, como ocorria no modelo de Solow.

Rosenberg (1982) e Kline e Rosenberg (1986) apresentam uma crítica ao modelo linear de inovação. Os autores afirmam que este modelo distorce a realidade do processo de inovação em diversos aspectos; consideram ainda que o processo de inovação é desencadeado pela investigação fundamental, ou seja, pela criação de ciência, ignorando o facto de o conhecimento tecnológico preceder frequentemente o conhecimento científico. Rosenberg, por sua vez, identificou interdependências entre factores do ambiente microeconómico e a taxa de inovação tecnológica e crescimento económico.

Freeman (1987), estudou o caso japonês<sup>4</sup> debruçando-se sobre os esforços premeditados e articulados, no pós-guerra, do número significativo de agentes direccionados para a absorção, disseminação, adaptação e desenvolvimento posterior de tecnologias e outros conhecimentos produzidos no exterior. Concluiu que o Japão adquire uma nova capacidade de inovar a partir de uma articulação entre o estado e os

---

<sup>4</sup> Estudo em que o autor menciona explicitamente o conceito de Sistema Nacional de Inovação (SNI) e destaca a natureza sistémica do SNI Japonês.

grandes grupos económicos, sendo que, os grupos económicos coordenam grupos de empresas sub-contratadas, o que lhes permite transmitir a inovação de forma mais eficaz.

Lundvall (1992) e Edquist (1997) observaram as relações de natureza não mercantil entre agentes e a relevância dessas conexões na partilha local de saberes tácitos. Estudaram o caso dos Sistemas Nacionais de Inovação (SNI) nos países nórdicos e da respectiva colaboração entre os diferentes agentes económicos, políticos e sociais. As relações informais que se estabelecem nos encontros de negócio são muito importantes, já que assim existem interações nos sistemas, ou seja, relações não mercantis.

No modelo de crescimento de longo prazo proposto por Romer (1986) e (1990), o autor assume que o conhecimento é um *input* na produção, que apresenta produtividade marginal crescente. Trata-se de um modelo de equilíbrio competitivo, com mudança tecnológica endógena. Segundo o mesmo, são as decisões de investimento tomadas pelos agentes, tendo como objectivo a maximização do lucro, que provocam a mudança tecnológica e consequentemente o crescimento económico. Trata-se de um modelo neoclássico com mudança tecnológica, aumentado para dar uma explicação endógena sobre a fonte de mudança tecnológica. Esse modelo foi posteriormente desenvolvido por Grossman e Helpman (1991) e Aghion e Howitt (1992) onde tentavam explicar o papel do progresso tecnológico no processo de crescimento.

Lucas (1988) também se foca na tecnologia e avança com uma nova teoria para o crescimento económico, respondendo às falhas e omissões da teoria de Solow. O autor considera que além das variáveis exógenas, existem outras variáveis importantes



tais como: o capital humano, o capital físico, a mudança tecnológica, a despesa pública, o comércio internacional, a distribuição de rendimentos e a política económica, que permitem justificar as variações de crescimento entre diferentes países.

Nelson e Winter (1982) introduziram uma nova teoria, a teoria evolucionista, onde o progresso técnico era considerado exógeno. Para se criar uma economia onde o conhecimento desempenharia um papel cada vez mais importante, torna-se necessário a acumulação de conhecimento através da interacção entre sistemas e dentro dos próprios sistemas, não esquecendo que estas relações são afectadas pelas condições socioeconómicas de cada país, assim como, pelas condições de cada mercado. Desta forma, as inovações e a mudança tecnológica decorrem de assimetrias de informação e de imperfeições concorrenciais nos mercados, onde a acumulação de conhecimento e a sua evolução histórica estão intrinsecamente ligados ao potencial de crescimento económico, de cada país ou região. O modelo interactivo encara a inovação como um processo complexo com múltiplas interacções entre os diversos agentes que participam no processo de concepção e produção de uma inovação.

Furman et al (2002) e Gans e Stern (2003) tentaram investigar diferenças no desempenho entre os países. Tal como se verifica em alguns estudos mais recentes, em que se utilizaram estatísticas sobre patentes, uma das conclusões a que chegaram foi a de que os países com melhor desempenho são aqueles que melhor conseguem desenvolver e adequar as suas instituições às suas necessidades de inovação. Furman tentou integrar a abordagem dos SNI numa teoria mais formal, com base em comparações internacionais face à capacidade inovadora dos países. De acordo com o

autor, as diferenças na dimensão relativa da despesa de I&D e o número de investigadores explicam a discrepância do número de patentes entre países.

## 2.2. Modelos de eficiência

O modelo DEA<sup>5</sup> foi aplicado por Rosseau e Rosseau (1997), no estudo da eficiência da I&D. Utilizaram uma amostra constituída por 18 países e um modelo de dois *outputs*: o número de patentes concedidas pelo *European Patent Office* (EPO) e o número de artigos científicos; e três *inputs*: população activa, produto interno bruto e despesa em I&D. Aplicaram o modelo DEA, orientado para *inputs* e com rendimentos constantes à escala, com o objectivo de obterem a eficiência do processo produtivo de I&D. Chegaram à conclusão que oito países dessa amostra apresentam eficiência relativa de 100%, nomeadamente a Áustria, Alemanha, Irlanda, Holanda, Suécia, Suíça, Reino Unido e Canadá.

Os autores, num outro estudo, no ano de 1998, aplicaram o mesmo método para analisar a eficiência em I&D e alargaram a amostra a países desenvolvidos não europeus. Abordaram o problema da escassez de dados e do possível enviesamento tendencioso destes sobre patentes que favoreceram os países europeus, devido à utilização de dados sobre patentes do EPO. Utilizaram o mesmo conjunto de *inputs* e *outputs* do estudo anterior e chegaram a conclusões idênticas. Tentaram controlar os efeitos de I&D através da utilização de restrições à variação dos *outputs*, já que se impunham limites mínimos e máximos de forma a assegurar que a metodologia considerasse sempre os *outputs* utilizados.

---

<sup>5</sup> DEA – técnica não paramétrica para avaliar o desempenho de um conjunto de entidades chamadas *decision making units* (DMU'S) que converte múltiplos *inputs* em múltiplos *outputs*. Esta noção será desenvolvida no ponto 3 deste trabalho.

Wang e Haung (2007) estudaram a eficiência das actividades de I&D, numa amostra de 30 países, através de uma metodologia com três etapas. Primeiro, aplicaram a metodologia DEA a um conjunto de dois *inputs*: o *stock* de despesa em I&D e o número de recursos humanos em actividades de I&D; e dois *outputs*: um rácio de patentes, que inclui o número de patentes atribuídos por cada país da amostra aos residentes e o número de patentes concedidas pelos EUA a cada país da amostra, e um rácio ponderado sobre o número de publicações científicas. Na segunda etapa, utilizaram as ineficiências dos *inputs*, ou seja, a quantidade de *inputs* que cada país estaria a consumir a mais do que deveria para ser eficiente, como variável dependente numa regressão *tobit*, de forma a controlar o impacto dos factores exógenos no sistema. Com os resultados da segunda etapa utilizaram novamente a DEA para obter eficiências “limpas” destes factores.

Sharma e Thomas (2008) utilizaram uma amostra de 18 países e consideraram uma diferença temporal entre os *inputs* (despesa em I&D e número de investigadores por milhão de habitantes) e os *outputs* (patentes concedidas a residentes e artigos científicos e tecnológicos) sob o pressuposto de rendimentos de escala constantes e variáveis. Através do índice de produtividade de Malmquist compararam séries temporais e chegaram à conclusão que os países asiáticos apresentavam uma melhoria nos seus indicadores de eficiência. Os países mais eficientes são o Japão, a República da Coreia e a China sob o pressuposto de rendimentos constantes, enquanto que sob o pressuposto de existirem rendimentos de escala variáveis, o Japão, República da Coreia, China, Índia, Eslovénia e Hungria, são mais eficientes. A emergência de alguns dos países em vias de desenvolvimento na fronteira de eficiência, indicou no estudo

que esses países podiam servir como *benchmarks* para a utilização de recursos de I&D de uma forma mais eficiente.

Cullman et al (2009a) e (2009b) estudaram a eficiência de I&D através de uma metodologia com duas etapas; primeiro, calcularam os índices de eficiência através da DEA, utilizando simultaneamente todas as séries temporais dos países da amostra com o intuito de estimarem uma fronteira de produção intertemporal; na segunda etapa, utilizaram o procedimento proposto por Simar e Wilson (2007) para que através de *bootstrap*, pudessem controlar o impacto dos sistemas nacionais de contribuição e impostos.

Cincera et al. (2009) desenvolveram um estudo para uma amostra de 27 países e tinham como objectivo analisar a eficiência da despesa pública em I&D e a despesa pública em I&D desenvolvida por privados. Depois de calcularem a eficiência, esta foi explicada por três factores exógenos. Os autores propõem a existência de três grupos de países que se distinguiram pelo desempenho das suas actividades em I&D e sugeriram a existência de um impacto ambiental do sistema de impostos sobre o comércio internacional, da regulação do mercado de trabalho e concorrencial, assim como do sistema nacional de protecção de propriedade industrial. Por um lado, indicaram que o investimento em I&D seria fortemente eficiente porque tinha a capacidade de aumentar a qualificação dos recursos humanos o que, por sua vez, influenciaria a eficiência neste sector. Por outro lado, os financiamentos de média dimensão seriam mais eficientes do que os de grande dimensão.

Wang (2007) analisou a eficiência de actividades de I&D com base num conjunto de 30 países pela utilização do método paramétrico e análise da fronteira estocástica. Controlando factores ambientais, o autor obteve eficiências superiores às

inicialmente estimadas, o que correspondeu a um impacto negativo no ambiente exógeno. Hu et al (2011) compararam a eficiência em I&D entre 24 países no período 1998-2005. Consideraram como *inputs* o *stock* de capital em I&D e mão-de-obra em I&D e como *outputs* as patentes, royalties e licenças e artigos científicos. Primeiro estimaram o *score* de eficiência de I&D para cada país tendo por base uma função de distância *translog*, lidando com o problema de múltiplos *outputs* na fronteira de abordagem estocástica. De seguida, investigaram como o ambiente inovador, principalmente num SNI, influencia os *scores* de eficiência de I&D. Verificaram que os direitos de propriedade intelectual e a acumulação de capital humano têm um efeito positivo sobre os índices de eficiência.

Lee e Park (2005) classificaram 27 países em quatro *clusters* baseados na eficiência de I&D especializada no *output*; depois de identificarem as características da eficiência em I&D nos países asiáticos. Mediram a eficiência de I&D utilizando o método DEA ao nível nacional, para identificarem as características dos países asiáticos em relação à eficiência de I&D e chegaram à conclusão que Singapura apresenta um nível de eficiência mais elevado e que o Japão é eficiente na orientação para o *output*. Enquanto a China, Coreia e Taiwan demonstraram ser ineficientes em termos de I&D.

### **3. Modelos teóricos**

#### **3.1. A função de produção**

Vários modelos de crescimento assumem que o *output* é gerado por uma especificação da função de produção *Cobb-Douglas* com dois factores, o capital e o trabalho. Esta especificação é a única função de produção linearmente homogénea com uma elasticidade constante, na qual a contribuição de cada factor para o

rendimento é constante ao longo do tempo. (Duffy e Papageorgiou, 2000). Solow (1957) no seu estudo utilizou uma função algébrica *Cobb-Douglas* e aplicou-a à actividade económica no seu todo:

$$(1) \quad Y_t = A e^{\lambda t} K_t^\alpha L_t^\beta$$

Em que  $Y$  é o *output* total,  $A$  é o progresso tecnológico  $K$  é o capital físico e  $L$  o trabalho, para um dado momento  $t$ .  $\alpha$  é a elasticidade do produto em relação ao capital e  $\beta$  é a elasticidade do produto em relação ao trabalho e  $\alpha + \beta = 1$ .

$$(2) \quad \lambda = \left( \frac{\Delta Y}{Y} \right) - \alpha \left( \frac{\Delta K}{K} \right) - \beta \left( \frac{\Delta L}{L} \right)$$

Onde  $\lambda$  é designado de progresso tecnológico.  $\Delta Y/Y$  corresponde à variação do produto,  $\Delta K/K$  corresponde às variações relativas do *stock* de capital e  $\Delta L/L$  às variações relativas da oferta de mão-de-obra. O autor determinou um  $\lambda$  positivo, assim o *stock* de capital e de trabalho não explicam tudo.

Enquanto no modelo desenvolvido por Solow, o progresso tecnológico era calculado como um valor residual, os modelos de segunda geração introduziram o conhecimento no modelo de produção, onde o produto é explicado pelo crescimento do *stock* de capital e de conhecimento da economia e do trabalho. Temos,

$$(3) \quad Y_{it} = A e^{\lambda t} K_{it}^\alpha L_{it}^\beta C_{it}^\gamma e^{\varepsilon_{it}}$$

Utilizando logaritmos e representando  $\ln Y$  por  $y$ , vem:

$$(4) \quad y_{it} = a + \lambda t + \alpha k_{it} + \beta l_{it} + \gamma c_{it} + \varepsilon_{it}$$

$$(5) \quad \Delta y_{it} = \lambda + \alpha \Delta k_{it} + \beta \Delta l_{it} + \gamma \Delta c_{it} + \Delta \varepsilon_{it}$$

A elasticidade do produto é representada por:

$$(6) \quad \gamma = \left(\frac{\Delta Y}{Y}\right) \left(\frac{\Delta C}{C}\right) = \left(\frac{\Delta Y}{Y}\right) \left(\frac{C}{\Delta C}\right) = \left(\frac{\Delta Y}{\Delta C}\right) \left(\frac{C}{Y}\right) = \rho \left(\frac{C}{Y}\right)$$

Onde  $\rho = \left(\frac{\Delta Y}{\Delta C}\right)$  representa a taxa de rendimento.

Conjugando os dois resultados anteriores tem-se:

$$(7) \quad \gamma \Delta cit = \rho \left(\frac{C}{Y}\right) \left(\frac{\Delta C}{C}\right) = \rho \left(\frac{\Delta C}{Y}\right) = \rho \left(I\&\frac{D}{Y}\right)$$

Pode então escrever-se:

$$(8) \quad \Delta y_{it} = \lambda + \alpha \Delta k_{it} + \beta \Delta l_{it} + \rho(I\&D/Y) + \Delta \varepsilon_{it}$$

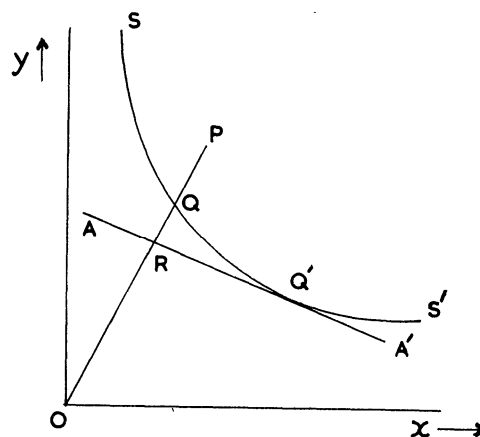
Sendo que o *stock* de conhecimento não é fácil de estimar, pelo que Griliches (1979) resolveu o problema em que se utiliza apenas a variação do stock de conhecimento que é igual ao I&D realizado.  $\rho$  é a taxa de crescimento que é estimada directamente em (8) ou indirectamente em (4) e (5). De acordo com Griliches, o *output* inovador é o produto de *inputs* geradores de conhecimento, similar à produção de bens físicos. Algumas medidas de *inputs*, tais como, as despesas em I&D e o número de investigadores são investidos no processo de produção de conhecimento e direccionados para a produção de conhecimento com valor económico. Assim  $\alpha + \beta + \rho = 1$ , admitindo o pressuposto de rendimentos de escala constantes.

### 3.2. Eficiência

A eficiência é um conceito importante para a inovação. Farrell (1957) define eficiência como a utilização óptima de recursos num sistema produtivo. Este conceito está relacionado com a maximização do *output* para um determinado *input*, onde o

limite é a fronteira de produção possível, definida, principalmente pela capacidade tecnológica e produtiva das entidades que fazem parte do mesmo sector. Foi o primeiro autor a utilizar múltiplos *inputs* e *outputs* para medir a eficiência, sem recurso à utilização de funções de produção definidas teoricamente. O foco principal do trabalho, por si desenvolvido, era a construção de uma unidade hipoteticamente eficiente, a qual seria o resultado da média ponderada das unidades eficientes, para servir de comparação com uma ou mais unidades ineficientes.

**Figura 1** – Representação gráfica da eficiência técnica e alocativa



Fonte: Farrell (1957)

Segundo Farrell (1957), a eficiência económica era composta pela eficiência técnica e pela eficiência alocativa. É possível verificar graficamente, pela análise da Figura 1, a existência dos dois conceitos através da curva  $SS'$  (isoquanta). A eficiência técnica requer um posicionamento ao longo da isoquanta ( $SS'$ ), representando a capacidade de um país obter a produção máxima dada a quantidade de factores existentes. A eficiência alocativa corresponde à capacidade de um país utilizar todos os factores de produção (*inputs*) de uma forma óptima minimizando os custos de produção. Esta é dada pelo ponto em que o declive da isoquanta é igual ao rácio dos



preços de produção (ponto Q'). Assim, o ponto Q' define graficamente o ponto eficiente, uma vez que a produção é realizada ao custo mínimo (a recta AA' representa a curva isocusto, dados os preços relativos dos factores  $x_1$  e  $x_2$ )

O ponto P representa o output de um determinado país, assim,  $OP/OQ$  será a eficiência técnica desse país (9). Neste caso, o referido país P utiliza mais *inputs* para o mesmo *output* que os países eficientes, representados na isoquanta. Ou seja, numa mesma isoquanta existem vários países com a mesma eficiência técnica, mas com diferentes eficiências alocativas. O segmento QP representa a diminuição de *inputs* que o país poderá realizar, sem que exista redução do *output*, de forma a melhorar a sua eficiência técnica:

$$(9) \quad ET = \frac{OQ}{OP} = 1 - \frac{QP}{OP}$$

A eficiência técnica do país P estará compreendida entre 0 e 1, a qual será sempre comparada com o *benchmark* da amostra, isto é, com os países incluídos na amostra que tenham a combinação óptima de *inputs* para produzir uma determinada quantidade de *outputs*, os quais se encontram sobre a fronteira de produção, representada na Figura 1 por Q.

$$(10) \quad EA = \frac{OR}{OQ}$$

A equação (10) representa a eficiência alocativa do país Q, que apesar de ser tecnicamente eficiente, não se encontra na melhor combinação de preços. Para que o país Q consiga melhorar a sua eficiência alocativa, mantendo o nível de eficiência técnica, teria que reduzir os seus custos de produção por um factor de  $OR/OQ$ , o que iria ocorrer através de uma deslocação ao longo da fronteira de produção para o ponto

Q'. Deste modo, todos os países em que a recta que passa pela origem, até ao ponto que representa a sua combinação de *inputs* para a produção de *outputs* tenha o mesmo declive, partilham a mesma eficiência alocativa. Assim, o produto destas duas eficiências constitui a eficiência económica (11).

$$(11) \quad \textit{Eficiência Económica} = \textit{Eficiência Técnica} \times \textit{Eficiência Alocativa}$$

O que representa a capacidade de um país produzir um *output*, utilizando as quantidades mínimas de *inputs* e a combinação de *inputs* que minimiza os custos.

$$(12) \quad EE = \frac{OQ}{OP} \times \frac{OR}{OQ} = \frac{OR}{OP}$$

A eficiência económica é definida pela equação (12) que representa a fracção pela qual a combinação de *inputs* tem que ser alterada para permitir a optimização da produção para que este se torna eficiente técnica e alocativamente.

A combinação perfeita que equivale à eficiência económica máxima é também óptima no sentido de Pareto, uma vez que não é possível alterar qualquer *input* ou *output* sem provocar um aumento ou uma diminuição noutros *inputs* ou *outputs*, diminuindo o bem-estar deste ou de outro país. Na óptica de Pareto, esta combinação não tem de ser necessariamente óptima para o país em causa. Assim, poderá ser necessário funcionar fora da eficiência económica em alguns sectores económicos.

No seu estudo, Farrell (1957) definiu o quadro teórico de análise da eficiência dos sistemas de produção que foi generalizado para um cenário de múltiplos *inputs* e *outputs* (13), ultrapassando a limitação inicial ao nível da quantidade de *inputs* e *outputs*.

$$(13) \quad E_k = \frac{\sum_j u_j Y_{jk}}{\sum_i v_i X_{ik}}$$

Onde,

$Y_{jk}$  representa o *output* j da entidade k

$X_{ik}$  representa o *input* i da entidade k

$u_j$  representa o peso de cada *output* j

$v_i$  representa o peso de cada *input* i

Após o seu estudo, a evolução dos métodos de avaliação da eficiência conduziu a duas linhas de investigação paralelas, que se distinguem na forma como a fronteira é especificada e estimada: o método das fronteiras estocásticas (Aigner et al, 1977) e o método de DEA (Charnes et al, 1978). As fronteiras estocásticas referem-se a abordagens paramétricas que definem a tecnologia de produção através de uma função matemática, normalmente *Cobb-Douglas* ou *translog*. A DEA é uma abordagem não-paramétrica e determinística, que não assume qualquer pressuposto sobre a forma da função de produção. A tecnologia de produção é definida através de um conjunto de propriedades que os pontos que pertencem ao conjunto de possibilidades de produção têm de satisfazer.

### 3.3. O método DEA

O método DEA é uma ferramenta matemática que surgiu na década de 50, com o trabalho desenvolvido por Farrell (1957) e foi utilizado na década de 70 por Charnes et al (1978) e na década de 80 por Banker et al (1984). O DEA foi desenvolvido para fazer face à dificuldade existente na estimação da eficiência quando era necessário trabalhar com vários *inputs* e *outputs*. Trata-se de uma técnica de análise não

paramétrica que pretende medir a eficiência de um processo, baseando-se na análise de *inputs* e *outputs* não paramétricos de um determinado processo. No estudo realizado por Charnes, Cooper e Rhodes, esta técnica foi utilizada para avaliar instituições públicas e organizações sem fins lucrativos, onde a estimação da fronteira de produção foi feita através de programação linear. O modelo proposto pelos autores tinha uma orientação para os *inputs* e assumia rendimentos de escala constantes onde a medida de eficiência obtida se designa eficiência técnica. (Charnes et al, 1978)

A técnica DEA permite analisar as combinações de *inputs* e *outputs* dos países presentes na amostra, denominados DMU<sup>6</sup>, para calcular os seus níveis de eficiência técnica, medindo assim as eficiências relativas de um grupo de países que utiliza vários *inputs* para produzir vários *outputs*. Obtém-se um *score* de eficiência que varia entre 0 e 1, para cada país, onde são escolhidos os pesos que maximizam o rácio de uma combinação linear das unidades de *outputs* para uma combinação linear de *inputs*. A eficiência é medida relativamente a todos os outros países sob a hipótese de que todos se encontram sobre ou abaixo da fronteira de eficiência. Se a eficiência de um país for igual a 1 significa que este é eficiente, se a eficiência for inferior a 1 significa que, existe uma combinação em pelo menos outro país que utiliza menos *inputs* e obtém os mesmos *outputs*, para o país avaliado. Esta metodologia permite estimar uma fronteira, ao contrário da regressão que estima medidas de tendência central, o que permite analisar o desempenho relativo dos países que utilizam os mesmos *inputs* para produzir os mesmos *outputs*. Um país ineficiente pode-se tornar mais eficiente se reduzir proporcionalmente os *inputs*, no caso do modelo orientado para os *inputs* e

---

<sup>6</sup> DMU = Decision Making Unit, refere-se a qualquer entidade que será avaliada sobre a sua capacidade de converter *inputs* em *outputs* (Cooper et al, 2004), aqui designada por países

aumentar proporcionalmente os *outputs*, no caso do modelo orientado para os *outputs*. (Cooper et al, 2004)

Esta técnica desenvolve uma função que permite determinar o indicador mais eficiente, identificando a fronteira onde o desempenho, de todos os indicadores de *input* utilizados, pode ser comparado. As fontes de ineficiência podem igualmente ser analisadas e quantificadas para cada unidade avaliada. Os países eficientes são considerados *benchmarks*, ou seja, unidades organizacionais que funcionam como exemplo de bom desempenho e definem a fronteira de eficiência.

A definição da fronteira de eficiência indica que a eficiência técnica de um país apenas é relativa ao conjunto de países para os quais a fronteira de eficiência é estimada. Ao se introduzirem novos países à análise, estes podem reduzir mas não podem aumentar a eficiência técnica de um país. A eficiência técnica é definida em relação a um determinado grupo de países, para um dado conjunto de factores, medidos de uma forma específica e qualquer alteração na especificação irá afectar a medida de eficiência. (Farrell, 1957)

**Tabela I – Tipos de eficiência**

<b>Eficiência Técnica Global</b>	Capacidade de um país produzir um <i>output</i> utilizando as mesmas quantidades de <i>inputs</i> e a combinação de <i>inputs</i> que minimiza os custos
<b>Eficiência Técnica Pura</b>	Pressupõe rendimentos de escala constantes e refere-se a falhas na utilização dos recursos da forma mais eficiente
<b>Eficiência de Escala</b>	Mede a possível redução proporcional na utilização de <i>inputs</i> , no caso de um país operar com rendimentos constantes de escala em vez de rendimentos de escala crescentes ou decrescentes

*Fonte: Elaboração própria*

As várias formulações do DEA diferem quanto ao tipo de orientação e sobre os rendimentos de escala exibidos. Dos dois modelos existentes na técnica DEA, o modelo CCR (Charnes et al, 1978) foi o pioneiro e tem como pressuposto rendimentos de escala constantes. Já o modelo BCC (Banker et al, 1984) admite rendimentos de escala variáveis. Ambos têm como objectivo a maximização da eficiência, para a redução dos *inputs*, mantendo o mesmo nível de *outputs* (orientação para o *input*) ou aumentar o *output*, mantendo o mesmo nível de *inputs* (orientação para o *output*).

#### 4. Metodologia

O presente estudo tem como objectivo analisar o desempenho e a eficiência da produção de ciência e tecnologia (C&T), em termos de investimento de I&D, para se tentar perceber se o investimento realizado é reflectido em termos de publicações científicas e em pedidos de patentes. Face a estudos já realizados, alguns evocados ao longo deste trabalho exploratório, poder-se-á afirmar que *“a análise dos sistemas de I&D, em termos econométricos, tem seguido duas vias. A primeira, na estimação de uma estrutura de produção de output científico e tecnológico, por unidades individuais e a segunda na estimação do impacto verificado ao se incluir a ciência e a tecnologia como inputs, numa relação de produção, ao nível macroeconómico”*. (Bonaccorsi e Daraio, 2004)

Nesse sentido, foram utilizados dois métodos que permitem estabelecer algumas considerações que podem determinar níveis de análise e comparações importantes ao se analisar a eficiência do investimento em I&D. O primeiro método, a utilização de uma função de produção, permitirá analisar a produtividade científica dos países escolhidos de entre a amostra, face ao período em estudo. Já o segundo

método, a análise da eficiência através do método DEA, permitirá estimar uma fronteira de eficiência para o conjunto de países observados no presente trabalho.

#### 4.1. A amostra

A amostra utilizada nasceu de uma vontade em considerar países que reunissem o maior número de dados disponíveis, face às variáveis analisadas e espaço temporal estipulado, o que permitiu, desta forma, obter uma amostra abrangente e o mais diversificada possível. Assim, foi construída uma base de dados constituída por 57 países, tomando em conta o período temporal entre 2000-2009. Os dados são anuais, sendo este o período em que se concentravam a maioria dos dados. Não desvalorizando o facto de a não existência de valores, em alguns anos, nalguns países, considerou-se trabalhar os *missing values* através de uma regressão linear, no programa estatístico *SPSS* no sentido de enviesar o menos possível os resultados obtidos.

##### 4.1.2. Variáveis

As variáveis escolhidas para este estudo exploratório foram: número de artigos científicos e tecnológicos publicados, por país de origem (ARTCIENT); os pedidos de patentes pela via PCT por país de origem (PAT), tendo em consideração estas variáveis representarem os *outputs* mais directos do processo de C&T; a despesa em I&D (DID); a despesa empresarial (DIDEMP) e não empresarial<sup>7</sup> em I&D (DIDNEMP), em ppp de 2005 (já que elimina as diferenças no nível de preço entre os países); o número de

---

<sup>7</sup> Despesa em I&D não empresarial = Despesa em I&D total – Despesa em I&D empresarial

investigadores em ETI<sup>8</sup> (INVFTE); o número de investigadores empresariais (INVFTEEMP) e não empresariais<sup>9</sup> (INVFTENEMP), em ETI (anexo 1).

#### 4.2. Método da função de produção

Na abordagem da função de produção, a medida da produção científica e tecnológica é realizada pela especificação de uma relação funcional entre os dados observados, tendo em consideração as relações médias e a estimação de coeficientes que relacionam os *inputs* com os *outputs*. Em termos de C&T, a função de produção tem sido utilizada na estimação da produção de *output* científico e tecnológico e assim como na estimação do impacto da C&T no crescimento económico.

Com este método serão estimados os coeficientes da equação de regressão que descrevem a tendência média da relação entre os *inputs* e os *outputs*, onde a noção de eficiência estará relacionada com o comportamento médio e não com o comportamento individual de cada país. (Bonaccorsi e Daraio, 2004)

Como variáveis dependentes, no âmbito deste método, utilizaram-se as variáveis ARTCIENT e PAT; as restantes variáveis foram utilizadas como variáveis explicativas, tendo sido formulados vários modelos com todas as variáveis disponíveis. Foram aplicados o teste VIF (*variance inflation test* para as variáveis dependentes) a todas as variáveis presentes na amostra para testar a existência de multicolinearidade entre as variáveis presentes na função de produção, bem como a análise da matriz de correlações entre as variáveis existentes na amostra para o mesmo fim. Desses testes, verificou-se existir uma forte correlação entre a despesa em I&D e o número de

---

<sup>8</sup> ETI =Equivalente de tempo integral

<sup>9</sup> Número de investigadores em ETI não empresariais = Número de investigadores em I&D total – Número de investigadores em ETI empresariais



investigadores que desempenham actividades de I&D, pelo que se poderia colocar em hipótese excluir uma das variáveis do modelo, mas considera-se importante para o presente estudo a utilização de ambas já que ajudam a explicar melhor os pedidos de patentes e a publicação de artigos científicos.

Uma das formas encontradas para tentar colmatar os problemas da multicolinearidade, foi a utilização da despesa em I&D e dos investigadores em termos empresariais e não empresariais, porque desta forma, haveria menos probabilidades de as variáveis estarem correlacionadas. Mesmo assim, chegou-se à conclusão que os modelos estimados apresentaram problemas de multicolinearidade, pelo que se optou pela utilização de variáveis agregadas. As variáveis foram normalizadas através de três métodos: a agregação simples; agregação através de análise factorial e agregação através do método min-max<sup>10</sup>. Concomitantemente, foram agregadas as variáveis: ARTCIENT e PAT; DIDEMP e INVFTTEEMP; DIDNEMP e INVFTENEMP; e DID e INVFTTE. Reformulou-se o modelo já com as variáveis agregadas pelos três métodos indicados e procedeu-se novamente ao teste da VIF e análise da matriz de correlações. Verificou-se que o modelo que apresenta menos problemas de multicolinearidade é aquele em que as variáveis foram agregadas pelo método min-max, pelo que foi este o escolhido para o presente estudo. (anexo 3)

#### **4.2.1. Modelo empírico**

Face ao estudo exploratório que se pretende implementar, é apresentado o seguinte modelo empírico:

---

<sup>10</sup> Formulação do método min-max:  $MMXi = [Xi - \min(X)] / [\max(X) - \min(X)]$ , onde  $MMXi$  representa o valor assumido pelo país  $i$  na dimensão  $X$ ,  $\min(X)$  representa a distribuição mínima dos agregados na dimensão  $X$  em todos os países e  $\max(X)$  representa a distribuição máxima do agregado na dimensão  $X$  em todos os países

$$(14) \quad X = f(Y; H)$$

Onde X representa a agregação da variável ARTCIENT e PAT através do método min-max; Y a agregação das variáveis DIDEMP e INVFTTEEMP, através do método min-max e H a agregação das variáveis DIDNEMP e INVFTENEMP pelo método min-max. Consequentemente, pode ser formalizada como resultado da transformação log de uma função *Cobb-Douglas*:

$$(15) \quad X_{it} = \alpha + \beta_1 Y_{it} + \beta_2 H_{it} + \varepsilon_{it}$$

Onde  $X_{it}$  representa o logaritmo de ARTCIENT e PAT;  $Y_{it}$  o logaritmo de DIDEMP e INVFTTEEMP e  $H_{it}$ , o logaritmo de DIDNEMP e INVFTENEMP e  $\varepsilon_{it}$  representa os resíduos. A função de produção foi estimada através de uma regressão linear pelo método dos mínimos quadrados.

### 4.3. Análise da eficiência

Para a análise da eficiência utilizaram-se dois *outputs*: o número de artigos científicos e tecnológicos publicados, por país de origem e o pedido de patentes pela via PCT por país de origem; e dois *inputs*: a despesa em I&D e o número de investigadores em ETI. A amostra é constituída pelo mesmo número de países e pelo mesmo período temporal que a função de produção.

## 5. Análise dos resultados

Os dados presentes no estudo, através da função de produção, são analisados em painel. Este método consiste numa técnica de análise que combina *cross-section* e

*time-series*. Trata-se de um método adequado uma vez que é indicado para os casos em que existem vários grupos (a análise é constituída por 57 países) e para períodos de tempo longos (10 anos, neste estudo). A análise de dados de painel permite aumentar a robustez da inferência estatística, assim como o estudo da dinâmica de mudança. Com este método, o enviesamento é reduzido e como existem mais observações detecta-se e mede-se melhor os efeitos face à alternativa de se utilizarem apenas os modelos *cross-section* ou *time-series* individualmente. Esta análise oferece outras vantagens pois existe uma diminuição do risco de existir multicolinearidade e uma maior eficiência da estabilidade dos estimadores. (Wooldridge, 2002)

A estimação de um modelo com dados de painel pode ser realizada através do modelo *pooled* (OLS), no caso de a amostra ser homogénea ou, no caso de existir homogeneidade individual, recorre-se ao modelo de efeitos individuais fixos ou aleatórios. Em primeiro lugar, será estimada a função de produção e depois será analisada a eficiência dos países em termos de I&D, através do método de DEA.

### **5.1. Resultados da função de produção**

A função de produção foi estimada através do programa econométrico *EViews*

7. Como o que se pretende estudar é o efeito que a despesa em I&D e o número de investigadores em ETI, empresariais e não empresariais tem sobre o número de artigos científicos e tecnológicos publicados e o pedido de patentes pela via PCT, utilizou-se o logaritmo natural das variáveis agregadas pelo método min-max, onde os valores dos coeficientes representam a elasticidade do modelo, e obtiveram-se os resultados da Tabela II. A estimação do modelo foi realizada primeiro pelo modelo OLS. Um dos

pressupostos do modelo é a normalidade dos resíduos. O teste foi efectuado graficamente, demonstrando a distribuição normal dos mesmos.

**Tabela II – Resultados do modelo estimado**

	<b>Variável Independente</b>
<i>C</i>	-0,178941 (0,0008) <sup>11*</sup> (0,052901)**
<i>β1</i>	0,539354 (0,0000)* (0,022499)**
<i>β2</i>	0,437880 (0,0000)* (0,030028)**
n.º observações	570
R <sup>2</sup>	0,928154

*Fonte: Elaboração própria com base no output do EVIEWS 7*

O que se traduz no seguinte modelo:

$$(16) X = -0,178941 + 0,539354 Y + 0,437880 H$$

Onde X representa o logaritmo de ARTCIENT e PAT, agregados pelo método min-max; Y o logaritmo de DIDEMP e INVFTTEEMP, agregados pelo método min-max e H, o logaritmo de DIDNEMP e INVFTENEMP, agregados pelo método min-max.

O modelo apresenta um R<sup>2</sup> de cerca de 0,93, o que significa que cerca de 93% da variação da variável dependente é explicada pela variação das duas variáveis independentes, ou seja, cerca de 93% da produção de artigos científicos e tecnológicos publicados e do pedido de patentes via PCT é explicada pela variável agregada de despesa em I&D e o número de investigadores empresariais e despesa em I&D e o

<sup>11</sup> \* nível de significância = 0,01 \*\* nível de significância = 0,05

número de investigadores não empresariais. Todos os coeficientes são estatisticamente significativos.

Ao somarmos  $\beta_1$  e  $\beta_2$ , obtemos os rendimentos de escala. Como o somatório é 0,98, apresentando um valor muito próximo de 1, concluímos que durante o período em estudo a produção de artigos científicos e tecnológicos e o pedido de patentes caracteriza-se por ter rendimentos de escala constantes. Assim, um aumento de 1% nas variáveis Y e H provoca um aumento na mesma proporção na variável X.

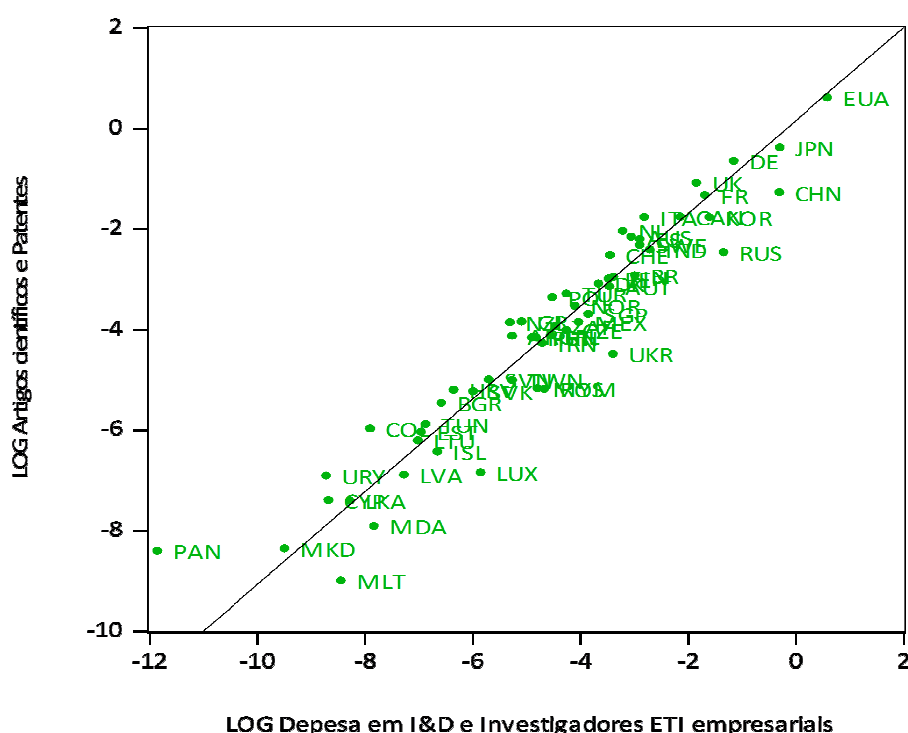
Ambas as variáveis presentes no modelo apresentam uma influência positiva sobre a variável dependente, sendo que a variável agregada para a despesa em I&D e o número de investigadores, em termos empresariais, contribui com um peso maior para a explicação dos pedidos de patentes e de publicação de artigos científicos e tecnológicos, embora a diferença não seja muito pronunciada. Este resultado é coerente com a teoria, porque tanto a despesa em I&D realizada pelas empresas e o número de investigadores em ETI em termos empresariais, têm um efeito superior no pedido de patentes e na publicação de artigos científicos e tecnológicos.

Verifica-se que uma variação de 1% na variável de publicação de artigos científicos e tecnológicos, assim como de pedidos de patentes, leva a um aumento de 0,54% na despesa em I&D e no número de investigadores em ETI empresariais. O elemento constante do modelo apresenta um valor de -0,178941, o qual representa a previsão do número de artigos científicos e tecnológicos e pedidos de patentes, se as duas variáveis incluídas no modelo forem zero.

Como as variáveis estão normalizadas pelo método min-max existirá um nível de *input* para o qual não existirá produção de *outputs* associada. Concretamente, este resultado significa ser necessário alcançar um limiar mínimo de utilização de recursos

(*inputs*) para que seja possível obter um resultado perceptível em termos de produção (*output*).

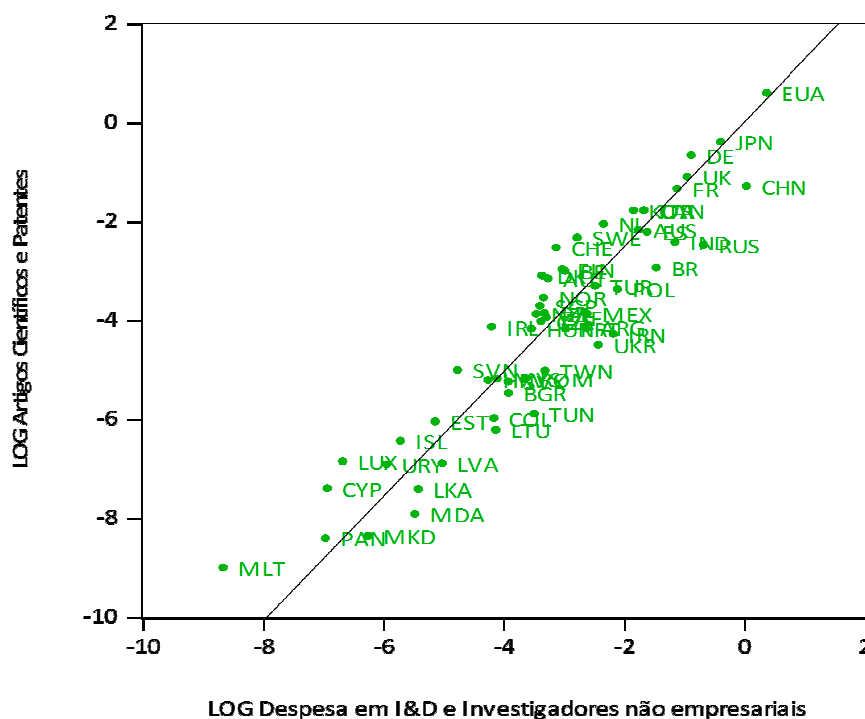
**Figura 2 – Relação entre output e a despesa em I&D e o número de investigadores ETI, empresariais (valores médios para o período 2000-2009, com variáveis agregadas pelo método min-max)**



Fonte: Elaboração própria

Da análise do Figura 2 verifica-se que os EUA se destacam com um nível superior de *input* e *output*. Países como a Alemanha, Reino Unido, França, Itália são considerados como mais eficientes quando se compara o *output* e a despesa em I&D e investigadores ETI empresariais. Os países mais ineficientes são Malta, Moldávia.

**Figura 3 – Relação entre *output* e despesa em I&D e o número de investigadores ETI, não empresariais (valores médios para o período 2000-2009, com variáveis agregadas pelo método min-max)**



Fonte: Elaboração própria

Ao se relacionar a variável despesa em I&D e número de investigadores em ETI, não empresariais com o *output* (pedido de patentes via PCT e número de artigos científicos e tecnológicos publicados), observa-se que os países apresentam um comportamento idêntico ao verificado no Figura 2. Na Figura 3 e na Figura 2 a China e a Rússia surgem como *outliers*, com níveis elevados de investimento em I&D e no número de investigadores, assim como níveis elevados de *output*. Quando se analisa os *outputs* em separado, artigos científicos e tecnológicos publicados e pedidos de patentes pela via PCT, o comportamento verificado é semelhante ao apresentado nas Figuras 2 e 3, o que se verifica pelas Figuras 4, 5, 6 e 7. (anexos 4,5,6 e 7).

## 5.2. Análise da eficiência pelo método DEA

Para a análise da eficiência utilizou-se o *software* MaxDea 6.0 para um grupo de 57 países (os mesmos utilizados na função de produção).

**Tabela III – Variáveis do modelo estimado**

Variáveis	Modelo
Artigos científicos e tecnológicos publicados, por país de origem	<i>Output</i>
Pedidos de patentes pela via PCT por país de origem	<i>Output</i>
Despesa em I&D	<i>Input</i>
Número de investigadores em ETI	<i>Input</i>

*Fonte: Elaboração própria*

Na análise de eficiência assume-se orientação para a maximização do *output*, pois os países tentam maximizar o *output* de I&D resultante dos seus *inputs*. Estimaram-se os dois modelos, BCC (Banker et al, 1984) e CCR (Charnes et al, 1978). O modelo CCR pressupõe rendimentos de escala constantes e a eficiência de escala e técnica estão agregadas, enquanto o modelo BCC assume rendimentos de escala variáveis e mede a eficiência técnica pura. Assim, a eficiência de escala pode ser determinada pelo rácio entre os resultados obtidos em ambos os modelos. Optou-se pela utilização do modelo BCC pelo facto de os países apresentarem rendimentos de escala variáveis.

Foi testado o modelo mencionado na Tabela III e obtiveram-se os resultados presentes na Tabela VI (anexo 8), ordenados pela eficiência técnica global. Os valores da eficiência representam a média da eficiência anual, para o período 2000-2009, dos *scores* de eficiência individuais dos países. Os valores obtidos variam entre 0 e 1, sendo



0 indicativo de ineficiência e 1 de eficiência. Esta tabela mostra, como seria de esperar, que a maioria dos países não apresenta eficiência óptima no processo de produção de patentes e artigos científicos e tecnológicos. Apenas países como a Alemanha, Nova Zelândia, Reino Unido, EUA, Holanda, Suíça, Itália e Malta, têm níveis de eficiência técnica óptima. Estes países podem servir como referência para ajudar a melhorar o desempenho daqueles menos eficientes. De salientar que um país apenas é eficiente em relação ao conjunto de países em análise. Ao se analisar dois períodos em separado verifica-se que, no período 2000-2004, os países com eficiência técnica óptima são: Holanda, Nova Zelândia, Suíça, Itália, Moldávia, Reino Unido, Alemanha, EUA e Malta. No período 2005-2009, os países mais eficientes são: Holanda, Nova Zelândia, Suíça, Grécia, Japão, Panamá, Macedónia, EUA e Malta. (anexos 9 e 10)

A Figura 8 (anexo 11) apresenta a evolução média de eficiência de técnica global e eficiência técnica pura para todos os países presentes na análise. Como se pode ver pela análise do gráfico, a China é o país que apresenta um nível de eficiência de escala mais baixo, o que estará relacionado com o facto de os dados se referirem ao período 2000-2009, e no início do período em análise a China apresentar valores menores em termos de investimento em I&D. Os resultados obtidos sugerem que a China se caracteriza por uma capacidade reduzida de produção de conhecimento, o que revela que se encontra na fase de imitação e replicação de tecnologias existentes. (Cullmann et al, 2009)

Os rendimentos de escala indicam a taxa a que o *output* aumenta face a um aumento proporcionalmente igual de todos os *inputs*. Estes estão presentes nas tabelas de eficiência e o que se observa é que existem países com rendimentos de escala crescentes e decrescentes. Os países têm rendimentos de escala crescentes

quando o aumento (ou diminuição) proporcional dos *inputs* provoca um aumento (ou diminuição) mais do que proporcional nos *outputs*. No caso de rendimentos de escala decrescentes, o aumento (ou diminuição) proporcional nos *inputs* provoca um aumento (ou diminuição) menor nos *outputs*. (Banker et al, 1984)

A estimação da fronteira apresenta uma eficiência técnica média de 0,71 no modelo BCC e 0,61 no modelo CCR, o que significa que existem ineficiências no processo de publicação de artigos científicos e tecnológicos e pedidos de patentes.

Ao se comparar os resultados obtidos nas duas análises realizadas verifica-se que enquanto na relação entre os pedidos de patentes via PCT e publicação de artigos científicos e tecnológicos com as variáveis despesa em I&D e investigadores, quer empresariais quer não empresariais, os EUA, o Japão e a China demonstram melhores resultados. Na análise da eficiência técnica estes países têm níveis de eficiência óptima ou com *scores* igualmente elevados.

## 6. Conclusão

Muitos países têm investido cada vez mais em inovação, designadamente através de actividades de I&D. A utilização eficiente de recursos escassos investidos por um determinado país em I&D, torna-se cada vez mais importante. Para se alcançar este objectivo é necessário utilizar o investimento em I&D de forma mais eficiente. Este trabalho tem como objectivo estudar a eficiência na utilização dos recursos e qual o seu contributo para a produção de conhecimento. Para tal utilizou-se uma função de produção em que as variáveis independentes foram agregadas em termos empresariais e não empresariais e uma análise da eficiência pelo método DEA.

Este trabalho seguiu a abordagem de análise de *input* e de *output* do tipo linear. Tal não significa que não exista consciência de que as relações em causa são mais complexas do que aqui assumido, designadamente quanto à existência de retroactividades nos processos em análise e quanto à interferência de dimensões de natureza institucional aqui não averiguadas. Porém, entendeu-se que o I&D empresarial e não empresarial é, sem dúvida, o principal *input* dos *outputs* estudados, publicações científicas e pedidos de patentes.

Foi utilizado um conjunto de 57 países para o período 2000-2009 para a função de produção e para a análise de eficiência. Na análise da eficiência através do método DEA foram ainda utilizados dois períodos em separado (2000-2004 e 2005-2009).

A utilização das variáveis despesa em I&D e número de investigadores em ETI demonstraram ser importantes para a criação de conhecimento, através do número de artigos científicos e tecnológicos e do pedido de patentes, sendo identicamente importantes para melhorar a eficiência em I&D. Da análise dos dados através da função de produção conclui-se que investimentos mais elevados em I&D e no número de investigadores conduzem a mais artigos científicos e tecnológicos publicados e a um maior número de pedidos de patentes. A excepção a esta regra verifica-se para investimentos muito baixos ou baixos em I&D, que parecem não gerar qualquer resultado até se alcançar um dado limiar (o termo autónomo da função de produção assume valor negativo). Porém, também se concluiu que não existem economias de escala neste processo, dado a soma dos regressores da função de produção ser muito próxima da unidade. Esta situação indicia não existirem “clubes” de países em termos de relações entre *inputs* e *outputs*, ao contrário do que se poderia esperar. Verificou-se que apesar de uma correlação elevada ( $R^2=0,93$ ) existem alguns *outliers* notáveis,

em primeiro lugar a China, mas igualmente a Rússia. Os dados analisados evidenciam níveis de eficiência mais baixa na transformação de *inputs* em *outputs* para ambos, sendo que no caso da China tal se deverá ao país ainda se encontrar num estado de aprendizagem e no caso da Rússia se poderá porventura dever ao país ter recebido uma herança de pesadas mas pouco produtivas estruturas de I&D.

Os resultados apurados através do método DEA mostram que a eficiência média de I&D é 0,71, o que indica que existe um potencial de crescimento de 29%, em termos médios, para existir uma melhoria, no período 2000-2009. Desses resultados verifica-se que Malta tem um nível de eficiência técnica de 100%, a par de países como EUA, Alemanha, Holanda, Reino Unido, Suíça, Nova Zelândia e Itália, o que sugere que países com menor investimento em I&D e menor número de investigadores podem alcançar níveis de eficiência elevados, apesar de os *outputs* produzidos serem baixos. Os EUA é um dos países que mais investe em I&D e onde o número de investigadores é superior, o que se traduz num maior nível de artigos científicos e tecnológicos publicados, assim como no pedido de patentes. Apesar de alguns países demonstrarem eficiência técnica de 100%, ainda existe espaço para melhorias e estes países podem servir como referência (*benchmarks*) para aqueles que revelaram ineficiência.

Futuramente, poderá ser interessante, efectuar um projecto onde se pudesse agrupar os países em *clusters*, tendo em consideração os *scores* de eficiência, e caracterizá-los de acordo com o seu desempenho. Fará igualmente sentido reproduzir este tipo de estudo com outros tipos de patentes que não apenas os pedidos via PCT. Este estudo assumiu uma natureza internacional, mas fará sentido questionar o comportamento de alguns países individualmente (logo à partida, de Portugal).

## Bibliografia

- Aghion, P., Howitt, P. (1992). A Model of Growth Through Creative Destruction. *Econometrica*, 60(2), 323-351.
- Aigner, D. J., Lovell, C. A. K., Schmidt, P. (1977). Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics* 6, 21-37.
- Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Efficiencies in Data Envelopment Analysis, *Management Science* 30(9), 1078-1092.
- Bonaccorsi, A., Daraio, C. (2004). Econometric Approaches to the Analysis of Productivity of R&D Systems in Moed, H. F., Glänzel, W., Schmoch, U. (eds.) *Handbook of Quantitative Science and Technology Research, The Use of Publication and Patent Statistics in Studies of S&T Systems*, Kluwer Academic Publishers, 51-74.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. (1978). Measuring the Inefficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research* 2, 429-444.
- Cincera, M., Czarnitzi, D., Thorwarth, S. (2009). Efficiency of Public Spending in Support of R&D Activities. *European Economy – Economic papers* 376, Directorate General Economic and Monetary Affairs, European Commission.
- Coelli, T.J., Rao, P., Battese, G.E. (1998). An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. Kluwer Academic Publishers, Boston.

- Cooper, W. W., Seiford, L. M. and Zhu, J. (2004). Data envelopment analysis: History, Models and Interpretations, in *Handbook on Data Envelopment Analysis*, Kluwer Academic Publishers, Boston, Chapter 1, 1-39.
- Cullmann, A., Schmidt-Ehmcke, J., Zloczynski, P. (2009a). R&D Efficiency in the OCDE - A two stage semi-parametric approach. *DIW Berlin*.
- Cullman, A., Schmidt-Ehmcke, J., Zloczynski, P. (2009b). Innovation, R&D Efficiency and the Impact of the Regulatory Environment – A Two Stage Semi-parametric Approach. *DIW Berlin*.
- Denison, E. F. (1962). *The Sources of Economic Growth in the United States and the Alternatives Before Us*. New York: Committee for Economic Development.
- Duffy, J., Papageorgiou, C. (2000). A Cross-Country Empirical Investigation of the Aggregate Production Function Specification. *Journal of Economic Growth* 5, 87-120.
- Edquist, C. (1997). *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations* Pinter Publishers/Cassell Academic, London.
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*. Vol. 120 (III), 253-290.
- Freeman, C. (1987). *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*. London: Pinter.
- Furman, J., Porter, M., Stern, S. (2002). The Determinants of National Innovative Capacity. *Research Policy* 31(6), 899-933.
- Gans, J., Stern, S. (2003). Assessing Australia's Innovative Capacity in the 21<sup>st</sup> century. *Research Report*, The University of Melbourne.

- Griliches, Z. (1979). Issues in Assessing the Contribution of R&D to Productivity Growth. *Bell Journal of Economics*, 10(1), 92-116.
- Griliches, Z., Pakes, A. and Hall, B. H. (1987). The Value of Patents as Indicators of Inventive Activity, in Partha, D. and Stoneman, P. (Eds.), *Economic Policy and Technological Performance*, Cambridge University Press.
- Griliches, Z. (1992). The Search for R&D Spillovers. *NBER Working Papers* 3768, National Bureau of Economic Research.
- Godinho, M. M. (2003). Inovação e Difusão da Inovação: Conceitos e Perspectivas Fundamentais, in Rodrigues, M. J., Neves, A. e Godinho, M. M., *Para uma Política de Inovação em Portugal*, Lisboa: Publicações Dom Quixote.
- Grossman, M., G., Helpman, E. (1991). *Innovation and Growth in the Global Economy*, Cambridge, MIT Press.
- Hu, Jin-li, Yang, Chih-Hai, Chen, Chiang-ping (2011) R&D Efficiency and National Innovation System: An International Comparison Using the Distance Function Approach. *Bulletin of Economic Research*.
- Kline, S., Rosenberg, N. (1986). An Overview of Innovation. in Landau, R., Rosenberg, N., *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*, Eds. Washington DC: National Academy Press.
- Lee, H. Y., Park, Y. T. (2005). An International Comparison of R&D Efficiency: DEA Approach. *Asian Journal of Technology Innovation* 13 (2), 207-222.
- Lucas, R. E. Jr. (1988). On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economy* 22, 3-42.
- Lundvall, B. A. (1992). *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, London: Pinter Publishers.

- Mowery, D., Rosenberg, N. (1982). The Influence of Market Demand upon Innovation: a critical review of some recent empirical studies. in: Rosenberg, N., org. *Inside the Black-box - Technology and Economics*. Cambridge: Cambridge University Press, 193-241.
- Nelson, R. R., Winter, S. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, Mass., Belknap Press of Harvard University Press.
- Romer, M. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy* 99, 500-521.
- Romer, M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy* 98, 71-102.
- Rosenberg, N. (1982). *Inside the Black Box – Technology and Economics*, Cambridge University Press.
- Rousseau, S., Rousseau, R. (1997). Data Analysis as a Tool for Constructing Scientometric indicators. *Scientometrics* 40, 45-46.
- Rousseau, S., Rousseau, R. (1998). The Scientific Wealth of European Nations: Taking Effectiveness into Account. *Scientometrics*, 42, 75-87.
- Schmookler, J. (1966). *Invention and Economic Growth*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Schumpeter, J. A. (1942). *Capitalism, Socialism and Democracy*, New York: Harper and Row.
- Schumpeter, J. A. (2003). *Capitalism, Socialism and Democracy*, Introduction by Richard Swedberg, Stockholm University, London and New York.
- Sharma, S., Thomas, V. J. (2008). Inter-Country R&D Efficiency Analysis: an Application of Data Envelopment Analysis. *Scientometrics* 76, 483-501.



- Simar, L., Wilson, P. (2007). Estimation and Inferences in Two Stage, Semi-Parametric Models of Production Process. *Journal of Econometrics* 136, 31-64.
- Solow, R. M. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *Review of Economics* 70, 65-94.
- Wang, E. C. (2007). R&D Efficiency and Economic Performance: a Cross-Country Analysis Using the Stochastic Frontier Approach. *Journal of Policy Modeling* 29, 345-360.
- Wang, E. C., Huang, W. (2007). Relative Efficiency of R&D activities: a cross-country study comparing for environmental factors in the DEA approach. *Research Policy* 36, 260-273.
- Wooldridge, J.M. (2002). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*, MIT Press.

## Anexos

### Anexo 1

**Tabela IV - Variáveis e fontes**

<b>Variáveis</b>	<b>Fonte</b>
<b>Número de artigos científicos e tecnológicos</b>	<b>National Science Foundation</b>
<b>Pedido de patentes pela via PCT, por país de origem</b>	<b>OECD Main Science and Technology Indicators</b>
<b>Despesa total em I&amp;D</b>	<b>UNESCO Institute for Statistics</b>
<b>Despesa Empresarial em I&amp;D</b>	<b>UNESCO Institute for Statistics</b>
<b>Número de investigadores em ETI</b>	<b>UNESCO Institute for Statistics</b>
<b>Número de investigadores empresariais em ETI</b>	<b>UNESCO Institute for Statistics</b>

*Fonte: elaboração própria*

## Anexo 2

Tabela V – Lista de países

Países	Sigla	Países	Sigla
Africa do sul	ZAF	Japão	JPN
Alemanha	DE	Letónia	LVA
Argentina	ARG	Lituânia	LTU
Austrália	AUS	Luxemburgo	LUX
Áustria	AUT	Macedónia	MKD
Bélgica	BE	Malásia	MYS
Brasil	BR	Malta	MLT
Bulgária	BGR	México	MEX
Canadá	CAN	Moldávia	MDA
China	CHN	Noruega	NOR
Colômbia	COL	Nova Zelândia	NZL
Chipre	CYP	Panamá	PAN
Croácia	HRV	Polónia	POL
Dinamarca	DK	Portugal	PRT
Eslováquia	SVK	Reino Unido	UK
Eslovénia	SVN	Republica Checa	CZE
Espanha	ES	República da Coreia	KOR
Estónia	EST	Roménia	ROM
Estados Unidos da América	EUA	Rússia	RUS
Finlândia	FIN	Singapura	SGP
França	FR	Sri Lanka	LKA
Grécia	GR	Suécia	SWE
Holanda	NL	Suíça	CHE
Hungria	HUN	Tailândia	TWN
Índia	IND	Tunísia	TUN
Irão	IRN	Turquia	TUR
Irlanda	IRL	Ucrânia	UKR
Islândia	ISL	Uruguai	URY
Itália	ITA		

Fonte: Elaboração Própria

**Anexo 3****Tabela VI - Estatísticas descritivas das variáveis**

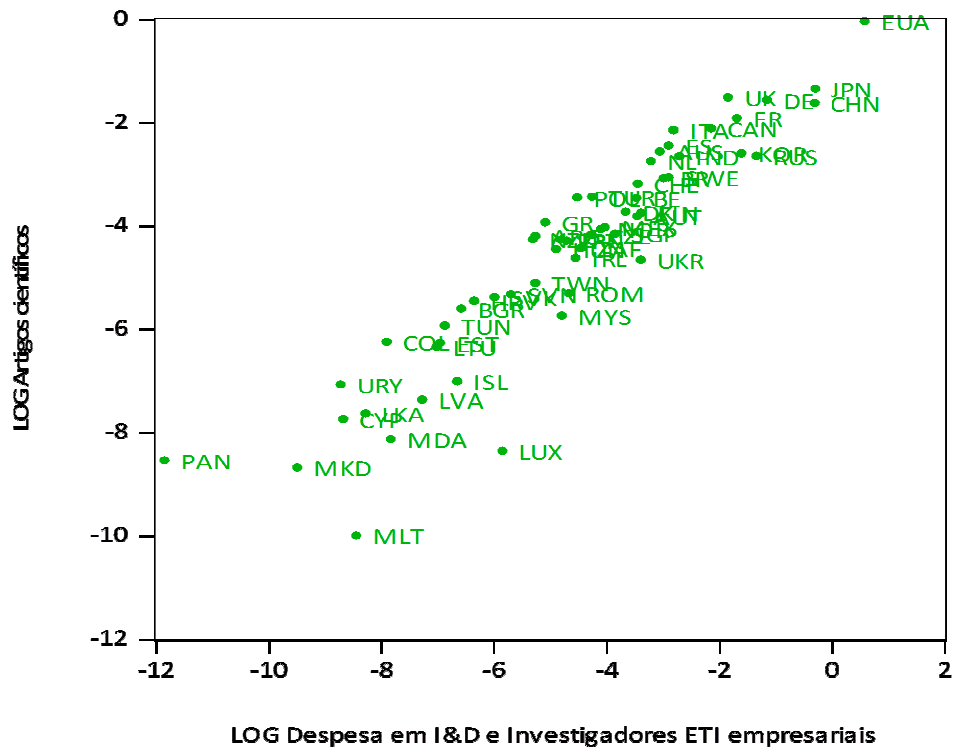
	<b>ARTCIENT</b>	<b>DID</b>	<b>DIDEMP</b>	<b>DIDNEMP</b>
<b>Média</b>	<b>11992</b>	<b>16436547</b>	<b>10910019</b>	<b>5526528</b>
<b>Mediana</b>	<b>3178</b>	<b>2837929</b>	<b>1313938</b>	<b>1308418</b>
<b>Máximo</b>	<b>212883</b>	<b>371812995</b>	<b>267742237</b>	<b>108622655</b>
<b>Mínimo</b>	<b>18</b>	<b>8676</b>	<b>170</b>	<b>2602</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>28710</b>	<b>47534734</b>	<b>34036682</b>	<b>13708885</b>
<b>N.º observações</b>	<b>561</b>	<b>561</b>	<b>561</b>	<b>561</b>

	<b>INVFTE</b>	<b>INVFTEEMP</b>	<b>INVFTENEMP</b>	<b>PAT</b>
<b>Média</b>	<b>105909</b>	<b>63076</b>	<b>42833</b>	<b>2316</b>
<b>Mediana</b>	<b>23789</b>	<b>7919</b>	<b>13562</b>	<b>189</b>
<b>Máximo</b>	<b>1592420</b>	<b>1171580</b>	<b>500207</b>	<b>52434</b>
<b>Mínimo</b>	<b>237</b>	<b>0,30</b>	<b>216</b>	<b>0,25</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>248986</b>	<b>181830</b>	<b>75357</b>	<b>6869</b>
<b>N.º observações</b>	<b>561</b>	<b>561</b>	<b>561</b>	<b>561</b>

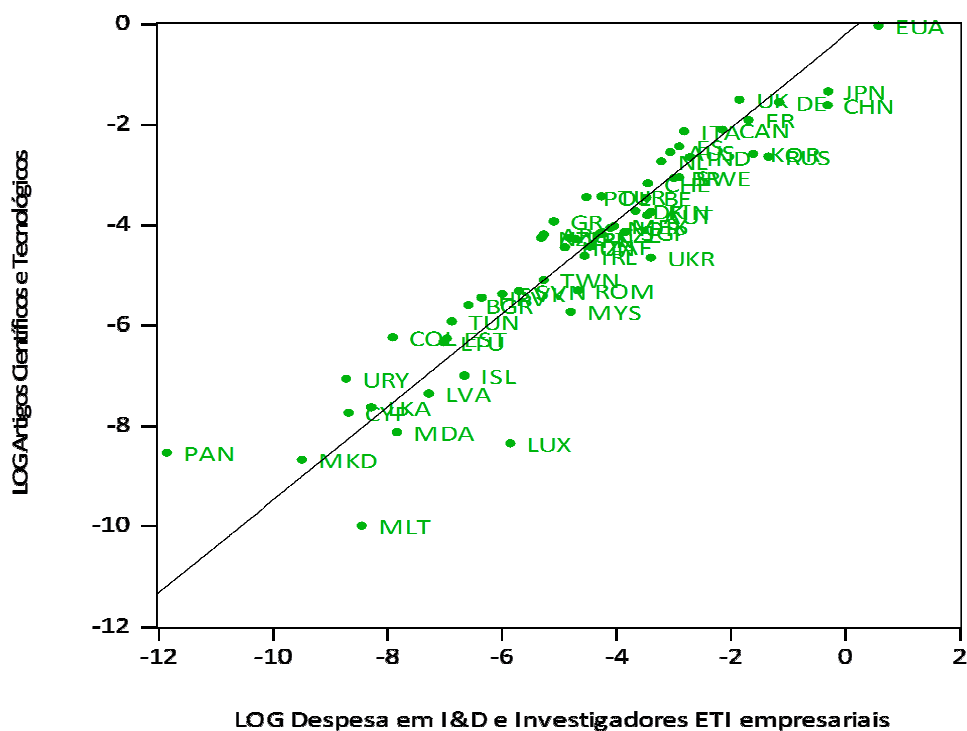
*Fonte: elaboração própria*

## Anexo 4

**Figura 4 – Relação entre artigos científicos e tecnológicos publicados e despesa em I&D e número de investigadores ETI, empresariais (valores médios para o período 2000-2009, com variável agregada pelo método min-max)**



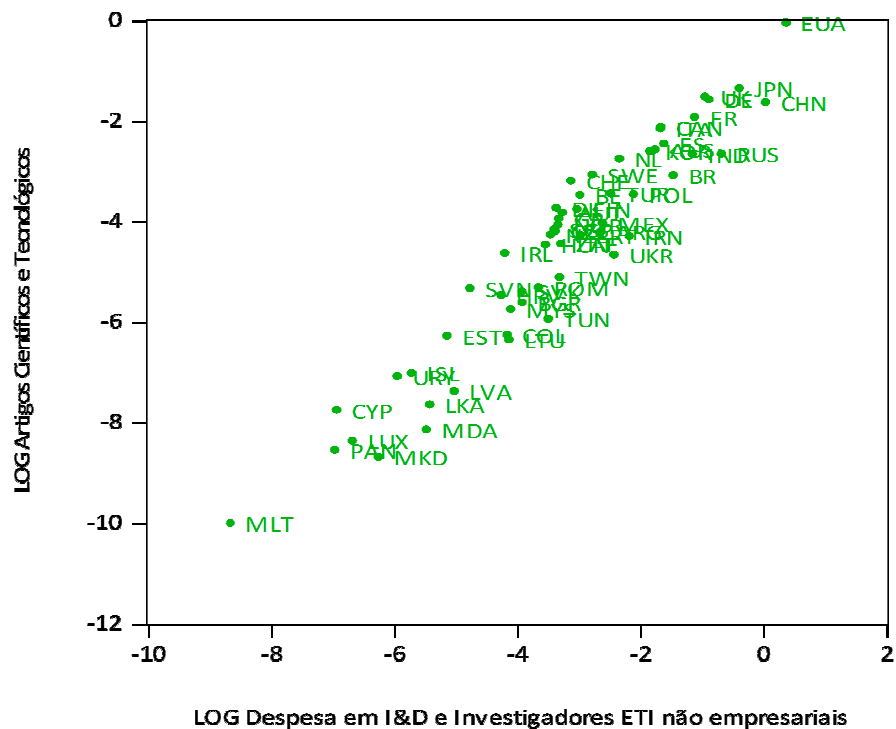
Fonte: Elaboração própria



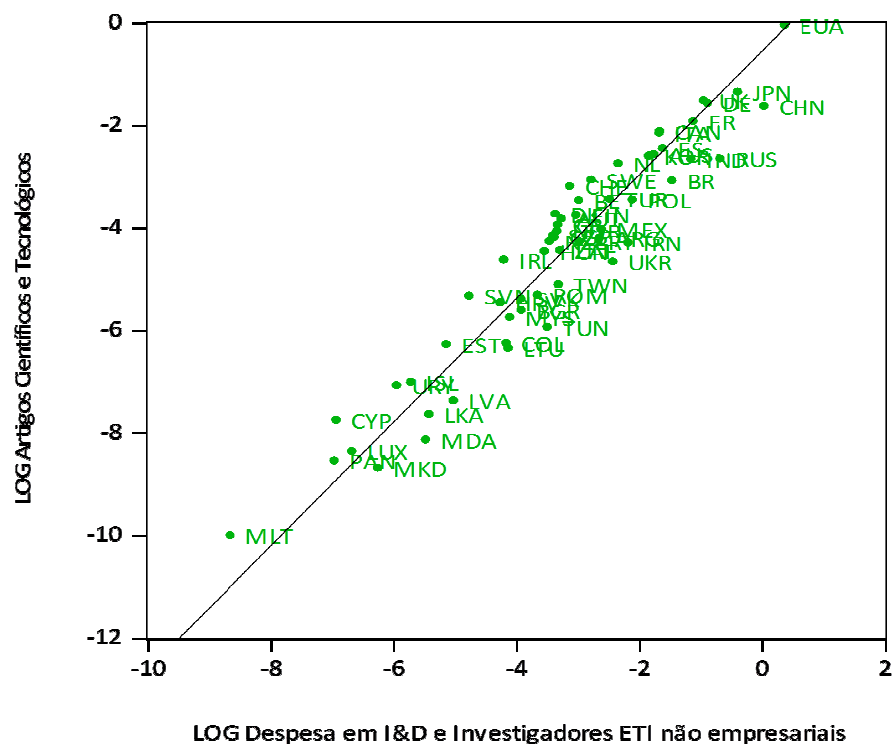
Fonte: Elaboração própria

## Anexo 5

**Figura 5 – Relação entre artigos científicos e tecnológicos publicados e despesa em I&D e número de investigadores ETI, não empresariais (valores médios para o período 2000-2009, com variável agregada pelo método min-max)**



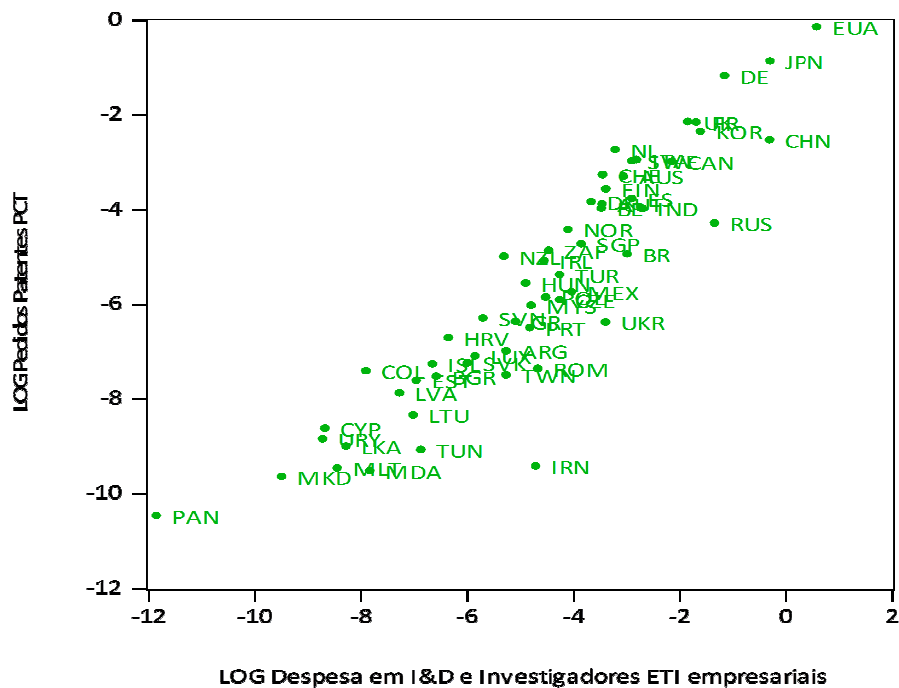
Fonte: Elaboração própria



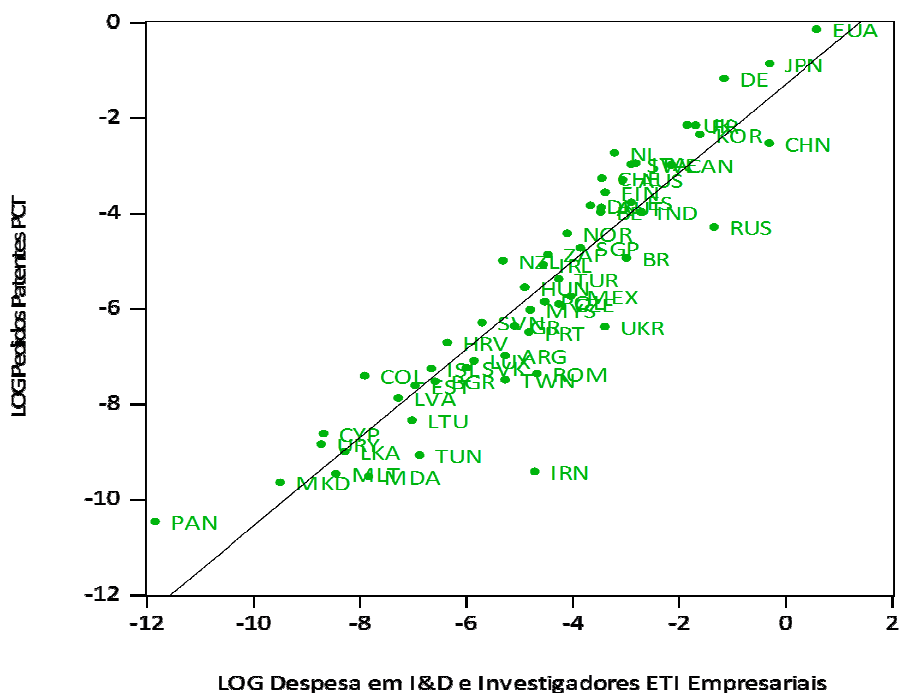
Fonte: Elaboração própria

## Anexo 6

**Figura 6 – Relação entre pedidos de patentes e despesa em I&D e número de investigadores ETI, empresariais (valores médios para o período 2000-2009, com variável agregada pelo método min-max)**



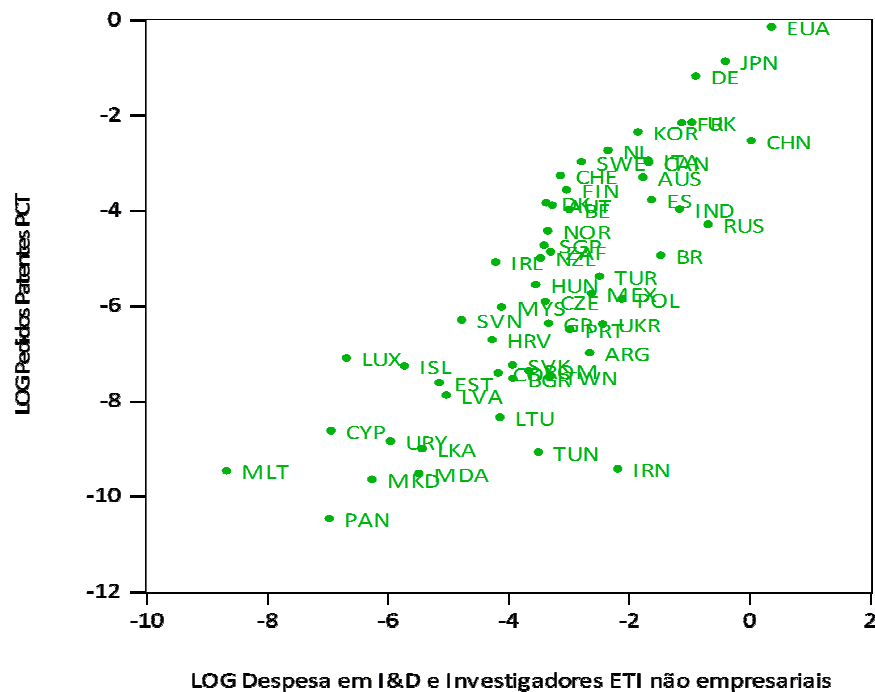
Fonte: Elaboração própria



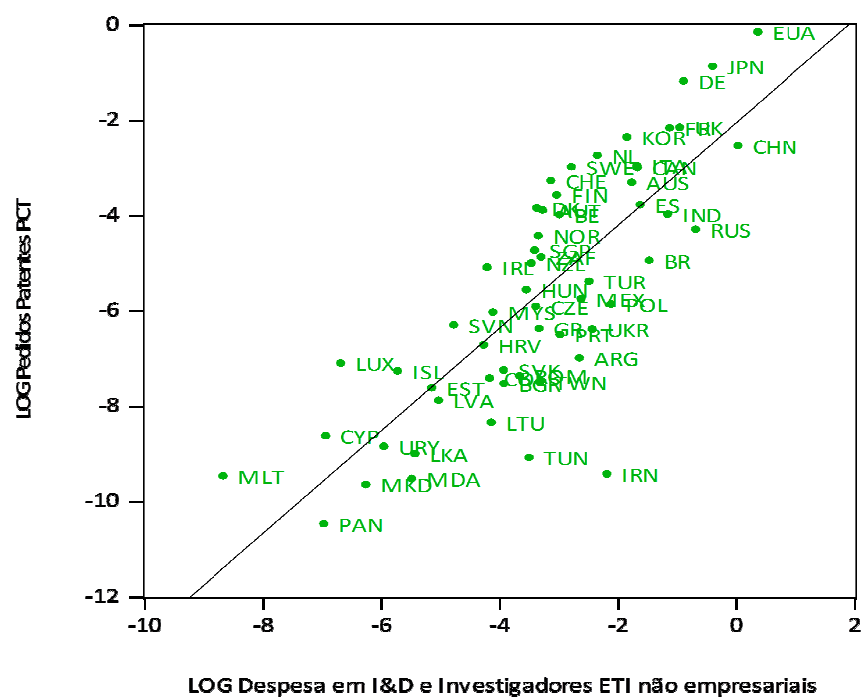
Fonte: Elaboração própria

## Anexo 7

**Figura 7 – Relação entre pedidos de patentes e despesa em I&D e número de Investigadores ETI, não empresariais (valores médios para o período 2000-2009, com variável pelo método min-max)**



Fonte: Elaboração própria



Fonte: Elaboração própria



## Anexo 8

Tabela VII – Taxas médias de eficiência para o período 2000-2009

Países	Eficiência Técnica Pura Modelo BCC	Eficiência Técnica Global* Modelo CCR	Eficiência de Escala	Economias de Escala
Holanda	1	1	1	Crescente
Nova Zelândia	1	1	1	Crescente
Suíça	1	1	1	Crescente
Grécia	0,9847	0,9777	0,9928	Crescente
Itália	1	0,9702	0,9702	Crescente
Moldávia	0,9529	0,8498	0,8918	Decrescente
Finlândia	0,8535	0,8445	0,9895	Crescente
Suécia	0,8294	0,8205	0,9892	Crescente
Estónia	0,8511	0,8154	0,9582	Decrescente
Dinamarca	0,8125	0,8111	0,9983	Crescente
Reino Unido	1	0,8041	0,8041	Crescente
Bulgária	0,8319	0,8019	0,9640	Crescente
Alemanha	1	0,7940	0,7940	Crescente
Eslovénia	0,8028	0,7863	0,9795	Decrescente
Eslováquia	0,7899	0,7752	0,9813	Crescente
Polónia	0,9886	0,7742	0,7831	Crescente
Chipre	0,9906	0,7652	0,7725	Decrescente
Austrália	0,8709	0,7460	0,8565	Crescente
Uruguai	0,8762	0,7380	0,8423	Decrescente
Turquia	0,8485	0,7344	0,8654	Crescente
Espanha	0,9422	0,6970	0,7397	Crescente
Canadá	0,8399	0,6949	0,8274	Crescente
Bélgica	0,6983	0,6875	0,9846	Crescente
Hungria	0,6929	0,6840	0,9871	Crescente
Irlanda	0,6792	0,6754	0,9944	Decrescente
Noruega	0,6598	0,6585	0,9980	Crescente
Croácia	0,6432	0,6309	0,9808	Decrescente
República Checa	0,6143	0,6071	0,9883	Crescente
Argentina	0,6890	0,6042	0,8769	Crescente
Áustria	0,6019	0,6010	0,9985	Decrescente
França	0,7676	0,5616	0,7317	Crescente
Panamá	0,9789	0,5570	0,5690	Decrescente
Japão	0,9033	0,5546	0,6139	Crescente
Portugal	0,5931	0,5369	0,9053	Crescente
Macedónia	0,8617	0,5339	0,6196	Decrescente
África do Sul	0,5238	0,5230	0,9984	Decrescente
Singapura	0,5204	0,5186	0,9965	Crescente
Letónia	0,5485	0,5168	0,9422	Decrescente
EUA	1	0,4898	0,4898	Crescente
República da Coreia	0,5980	0,4862	0,8131	Crescente
Islândia	0,4934	0,4619	0,9363	Decrescente
Malta	1	0,4456	0,4456	Decrescente
Tailândia	0,4389	0,4354	0,9919	Crescente
Roménia	0,4534	0,4338	0,9567	Crescente
Sri Lanka	0,4869	0,4271	0,8772	Decrescente
México	0,4485	0,4136	0,9221	Crescente
Lituânia	0,4165	0,4043	0,9706	Crescente

<b>Índia</b>	<b>0,5582</b>	<b>0,3891</b>	<b>0,6971</b>	<b>Crescente</b>
<b>Colômbia</b>	<b>0,3830</b>	<b>0,3782</b>	<b>0,9875</b>	<b>Decrescente</b>
<b>Brasil</b>	<b>0,4216</b>	<b>0,3484</b>	<b>0,8264</b>	<b>Crescente</b>
<b>Tunísia</b>	<b>0,3543</b>	<b>0,3455</b>	<b>0,9753</b>	<b>Crescente</b>
<b>Luxemburgo</b>	<b>0,3296</b>	<b>0,2929</b>	<b>0,8886</b>	<b>Decrescente</b>
<b>Ucrânia</b>	<b>0,3731</b>	<b>0,2926</b>	<b>0,7842</b>	<b>Crescente</b>
<b>Rússia</b>	<b>0,5662</b>	<b>0,2859</b>	<b>0,5050</b>	<b>Crescente</b>
<b>Malásia</b>	<b>0,2637</b>	<b>0,2616</b>	<b>0,9921</b>	<b>Decrescente</b>
<b>Irão</b>	<b>0,3428</b>	<b>0,2531</b>	<b>0,7383</b>	<b>Crescente</b>
<b>China</b>	<b>0,6000</b>	<b>0,2284</b>	<b>0,3807</b>	<b>Crescente</b>
<b>Média</b>	<b>0,7117</b>	<b>0,6092</b>	<b>0,8660</b>	

\* Eficiência técnica Global = Eficiência Técnica pura x Eficiência de escala

*Fonte: Elaboração própria*

## Anexo 9

Tabela VIII - Taxas médias de eficiência para o período 2000-2004

Países	Eficiência Técnica Pura Modelo BCC	Eficiência Técnica Global <sup>*</sup> Modelo CCR	Eficiência de Escala	Economias de Escala
Holanda	1	1	1	Crescente
Nova Zelândia	1	1	1	Crescente
Suíça	1	1	1	Crescente
Itália	1	0,9988	0,9988	Crescente
Moldávia	1	0,9897	0,9897	Decrescente
Grécia	0,9694	0,9553	0,9854	Crescente
Estónia	0,9554	0,9309	0,9744	Decrescente
Bulgária	0,9332	0,8856	0,9490	Crescente
Finlândia	0,8991	0,8822	0,9813	Crescente
Reino Unido	1	0,8803	0,8803	Crescente
Dinamarca	0,8327	0,8312	0,9981	Crescente
Eslovénia	0,8351	0,8204	0,9824	Decrescente
Suécia	0,8137	0,8020	0,9856	Decrescente
Austrália	0,9341	0,7934	0,8494	Crescente
Polónia	0,9885	0,7901	0,7993	Crescente
Eslováquia	0,8008	0,7825	0,9771	Crescente
Turquia	0,8426	0,7732	0,9175	Crescente
Chipre	0,9811	0,7654	0,7802	Decrescente
Alemanha	1	0,7624	0,7624	Crescente
Uruguai	0,8971	0,7602	0,8473	Decrescente
Espanha	0,9562	0,7405	0,7745	Crescente
Hungria	0,7350	0,7188	0,9780	Crescente
Argentina	0,7992	0,7141	0,8936	Crescente
Canadá	0,7627	0,6897	0,9042	Crescente
República Checa	0,6866	0,6856	0,9985	Crescente
Bélgica	0,6858	0,6789	0,9900	Crescente
Irlanda	0,6681	0,6651	0,9956	Decrescente
Áustria	0,6467	0,6460	0,9989	Decrescente
Noruega	0,6270	0,6254	0,9974	Crescente
África do Sul	0,5770	0,5762	0,9985	Decrescente
França	0,7449	0,5743	0,7710	Crescente
Letónia	0,5787	0,5614	0,9702	Decrescente
Portugal	0,5889	0,5578	0,9471	Crescente
Singapura	0,5352	0,5348	0,9992	Crescente
Panamá	0,9578	0,5210	0,5440	Decrescente
Macedónia	0,7233	0,5163	0,7138	Decrescente
Croácia	0,5165	0,5117	0,9907	Decrescente
Islândia	0,5342	0,5031	0,9418	Decrescente
EUA	1	0,5008	0,5008	Crescente
Malta	1	0,4925	0,4925	Decrescente
Roménia	0,5165	0,4785	0,9264	Crescente
Japão	0,8067	0,4654	0,5770	Crescente
México	0,4417	0,4222	0,9558	Crescente
Lituânia	0,4320	0,4138	0,9579	Crescente
República da Coreia	0,4929	0,3930	0,7973	Crescente
Índia	0,5229	0,3733	0,7139	Crescente
Sri Lanka	0,3851	0,3693	0,9589	Decrescente

<b>Colômbia</b>	<b>0,3679</b>	<b>0,3642</b>	<b>0,9900</b>	<b>Decrescente</b>
<b>Tunísia</b>	<b>0,3624</b>	<b>0,3471</b>	<b>0,9579</b>	<b>Crescente</b>
<b>Brasil</b>	<b>0,3828</b>	<b>0,3346</b>	<b>0,8742</b>	<b>Crescente</b>
<b>Tailândia</b>	<b>0,3282</b>	<b>0,3229</b>	<b>0,9840</b>	<b>Crescente</b>
<b>Rússia</b>	<b>0,6397</b>	<b>0,3193</b>	<b>0,4991</b>	<b>Crescente</b>
<b>Ucrânia</b>	<b>0,4313</b>	<b>0,3176</b>	<b>0,7362</b>	<b>Crescente</b>
<b>Luxemburgo</b>	<b>0,3422</b>	<b>0,3037</b>	<b>0,8877</b>	<b>Decrescente</b>
<b>Malásia</b>	<b>0,2183</b>	<b>0,2169</b>	<b>0,9936</b>	<b>Decrescente</b>
<b>China</b>	<b>0,4811</b>	<b>0,2084</b>	<b>0,4332</b>	<b>Crescente</b>
<b>Irão</b>	<b>0,2196</b>	<b>0,1617</b>	<b>0,7364</b>	<b>Crescente</b>
<b>Média</b>	<b>0,7084</b>	<b>0,6181</b>	<b>0,8779</b>	

\* Eficiência técnica Global = Eficiência Técnica pura x Eficiência de escala

*Fonte: Elaboração própria*

## Anexo 10

Tabela IX - Taxas médias de eficiência para o período 2005-2009

Países	Eficiência Técnica Pura Modelo BCC	Eficiência Técnica Global* Modelo CCR	Eficiência de Escala	Economias de Escala
Holanda	1	1	1	Crescente
Nova Zelândia	1	1	1	Crescente
Suíça	1	1	1	Crescente
Grécia	1	1	1	Crescente
Itália	1	0,9415	0,9415	Crescente
Suécia	0,8451	0,8390	0,9927	Decrescente
Alemanha	1	0,8256	0,8256	Crescente
Finlândia	0,8079	0,8068	0,9986	Crescente
Dinamarca	0,7922	0,7910	0,9985	Crescente
Eslováquia	0,7791	0,7678	0,9856	Crescente
Chipre	1	0,7650	0,7650	Decrescente
Polónia	0,9888	0,7583	0,7668	Crescente
Eslovénia	0,7705	0,7522	0,9762	Decrescente
Croácia	0,7699	0,7501	0,9742	Decrescente
Reino Unido	1	0,7279	0,7279	Crescente
Bulgária	0,7306	0,7182	0,9831	Crescente
Moldávia	0,9058	0,7099	0,7838	Crescente
Uruguai	0,8554	0,7086	0,8285	Decrescente
Canadá	0,9170	0,7002	0,7635	Crescente
Estónia	0,7467	0,6999	0,9373	Decrescente
Austrália	0,8078	0,6985	0,8648	Crescente
Bélgica	0,7109	0,6962	0,9793	Crescente
Turquia	0,8545	0,6956	0,8140	Crescente
Noruega	0,6926	0,6917	0,9986	Crescente
Irlanda	0,6903	0,6857	0,9933	Decrescente
Espanha	0,9283	0,6535	0,7039	Crescente
Hungria	0,6508	0,6491	0,9973	Crescente
Japão	1	0,6438	0,6438	Crescente
Panamá	1	0,5929	0,5929	Decrescente
República da Coreia	0,7031	0,5794	0,8241	Crescente
Áustria	0,5572	0,5560	0,9979	Decrescente
Macedónia	1	0,5515	0,5515	Decrescente
França	0,7903	0,5489	0,6946	Crescente
Tailândia	0,5497	0,5478	0,9966	Crescente
República Checa	0,5419	0,5286	0,9754	Crescente
Portugal	0,5972	0,5160	0,8640	Crescente
Singapura	0,5055	0,5023	0,9938	Crescente
Argentina	0,5789	0,4943	0,8538	Crescente
Sri Lanka	0,5888	0,4850	0,8238	Decrescente
EUA	1	0,4788	0,4788	Crescente
Letónia	0,5183	0,4721	0,9109	Decrescente
África do Sul	0,4706	0,4698	0,9984	Decrescente
Islândia	0,4526	0,4208	0,9297	Decrescente
México	0,4554	0,4051	0,8894	Decrescente
Índia	0,5934	0,4049	0,6823	Crescente
Malta	1	0,3987	0,3987	Decrescente
Lituânia	0,4011	0,3948	0,9844	Crescente

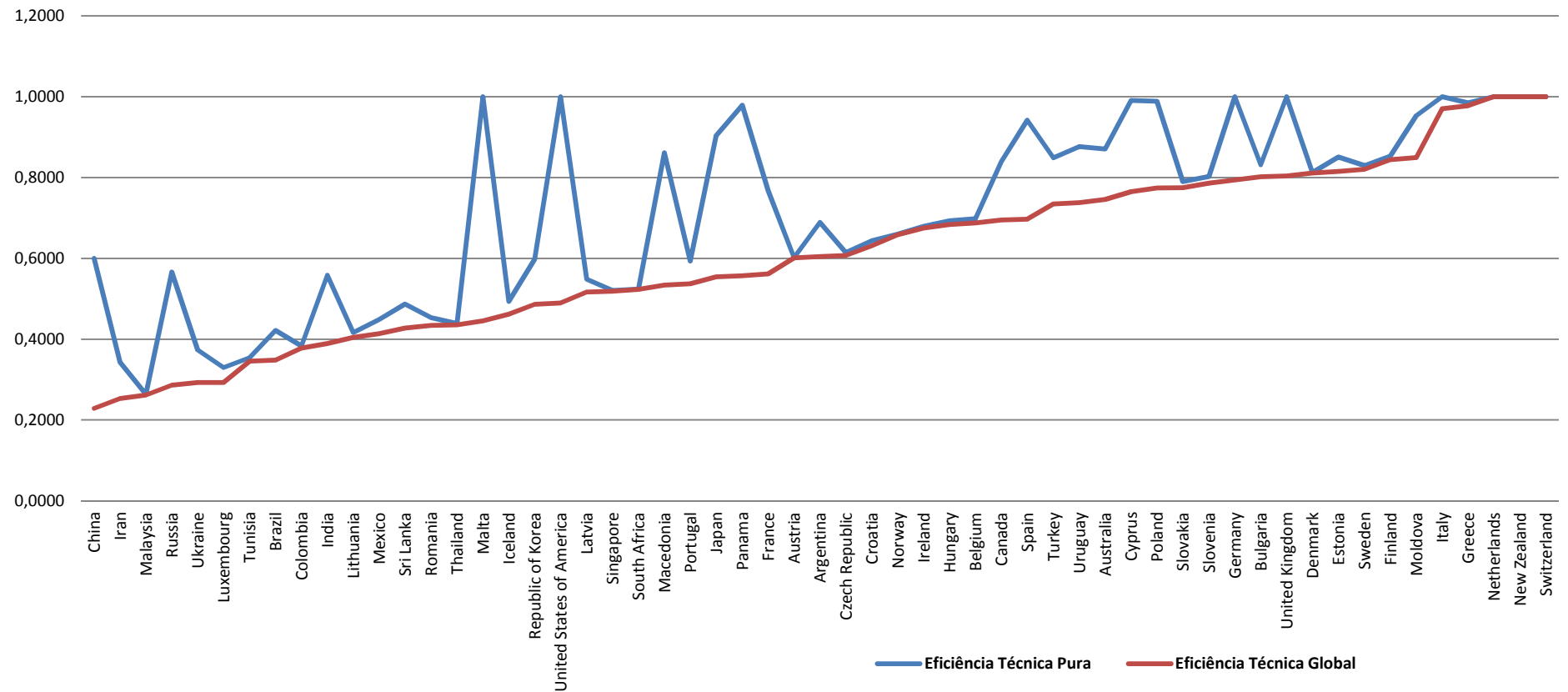
<b>Colômbia</b>	<b>0,3980</b>	<b>0,3921</b>	<b>0,9852</b>	<b>Decrescente</b>
<b>Roménia</b>	<b>0,3903</b>	<b>0,3891</b>	<b>0,9969</b>	<b>Crescente</b>
<b>Brasil</b>	<b>0,4603</b>	<b>0,3622</b>	<b>0,7867</b>	<b>Crescente</b>
<b>Irão</b>	<b>0,4660</b>	<b>0,3444</b>	<b>0,7391</b>	<b>Crescente</b>
<b>Tunísia</b>	<b>0,3461</b>	<b>0,3439</b>	<b>0,9934</b>	<b>Crescente</b>
<b>Malásia</b>	<b>0,3091</b>	<b>0,3063</b>	<b>0,9911</b>	<b>Decrescente</b>
<b>Luxemburgo</b>	<b>0,3171</b>	<b>0,2821</b>	<b>0,8897</b>	<b>Decrescente</b>
<b>Ucrânia</b>	<b>0,3149</b>	<b>0,2677</b>	<b>0,8500</b>	<b>Crescente</b>
<b>Rússia</b>	<b>0,4927</b>	<b>0,2526</b>	<b>0,5127</b>	<b>Crescente</b>
<b>China</b>	<b>0,7189</b>	<b>0,2484</b>	<b>0,3456</b>	<b>Crescente</b>
<b>Média</b>	<b>0,7151</b>	<b>0,6002</b>	<b>0,8557</b>	

\* Eficiência técnica Global = Eficiência Técnica pura x Eficiência de escala

*Fonte: Elaboração própria*

## Anexo 11

**Figura 8 – Evolução média da eficiência técnica pura e eficiência técnica global para o período 2000-2009**



Fonte: Elaboração própria com base no output do programa MaxDea